



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

# FACULTAD DE INGENIERÍA

---

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

“PROPUESTA DE UN SISTEMA DE  
MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN EL ÁREA DE  
PROCESAMIENTO DE MINERAL PARA  
INCREMENTAR LA RENTABILIDAD DE UNA  
COMPAÑÍA MINERA”

Tesis para optar el título profesional de:

**Ingeniero Industrial**

**Autor:**

Br. Lesly Denisse Rojas Díaz

**Asesor:**

Ing. Ramiro Mas McGowen

Trujillo - Perú

2016

## DEDICATORIA

*Esta tesis se la dedico a Dios y a mis padres.*

*A Dios por ser la luz en mi camino, por acompañarme en cada paso que doy, por haberme dado fortaleza, capacidad y actitud para alcanzar una de las tantas metas que me propongo en mi vida, entre éstas la culminación de esta tesis.*

*A mis padres Rodolfo Rojas y Mariana Díaz, quienes son las bases principales en cada uno de mis proyectos, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento. Depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento en mi inteligencia y capacidad. Es por ello que soy lo que soy ahora y los amo con toda mi vida.*

## EPÍGRAFE

*“El éxito es fácil de obtener. Lo difícil es merecerlo.”*

(Albert Camus)

## AGRADECIMIENTO

*Me gustaría agradecer el presente trabajo de tesis en primer lugar a mis padres Rodolfo Rojas y Mariana Díaz que, con su ejemplo, esfuerzo y su apoyo me permitieron lograr y alcanzar esta meta y supieron regalarme la herencia más valiosa para poder defenderme en la vida, les estaré agradecida por siempre.*

*A la universidad y los profesores académicos por su dedicación y porque me han transmitido sus conocimientos académicos, el apoyo y su tiempo fundamentales para mi formación universitaria y crecimiento personal.*

*A la empresa Compañía Minera Condestable S.A por permitirme y por ser una empresa que confió en mí, que me brindó confianza y la oportunidad de realizar esta tesis, la cual me ayudará a desarrollarme como futura Ingeniera Industrial.*

## PRESENTACIÓN

Señores Miembros del Jurado:

De conformidad y cumpliendo lo estipulado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada del Norte, para optar el Título Profesional de Ingeniero Industrial, pongo a vuestra consideración la presente Proyecto intitulado:

***“PROPUESTA DE UN SISTEMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN EL  
ÁREA DE PROCESAMIENTO DE MINERAL PARA INCREMENTAR LA  
RENTABILIDAD DE UNA COMPAÑÍA MINERA”***

El presente proyecto ha sido desarrollado durante los primeros meses de Junio del 2016 a Octubre del año 2016, y espero que el contenido de este estudio sirva de referencia para otros Proyectos o Investigaciones.

---

Bach. Rojas Díaz, Lesly Denisse

## LISTA DE MIEMBROS DE LA EVALUACIÓN DE LA TESIS

**Asesor:**

---

Ing. Ramiro Mas McGowen

**Jurado 1:**

---

Ing. Marcos Baca López

**Jurado 2:**

---

Ing. Miguel Ángel Rodríguez Alza

**Jurado3:**

---

Ing. Rafael Castillo Cabrera

## RESUMEN

La presente tesis se ha elaborado con la finalidad de incrementar la rentabilidad de una Compañía Minera. Para ello se ha planteado mejorar la actual gestión del mantenimiento de los equipos de área de procesamiento de mineral, a través de la propuesta de un sistema de mantenimiento predictivo.

En el primer capítulo se ha realizado el diagnóstico de la situación actual de la empresa, se detectaron los problemas de todas las áreas y se formuló el problema al que se dará solución con esta tesis.

En el segundo capítulo se citan antecedentes nacionales e internacionales bajo los cuales se guía el desarrollo de la presente tesis; así mismo se describe la teoría del mantenimiento y métodos a utilizar para el desarrollo de la tesis.

En el capítulo tercero, se hace una descripción general de la empresa para tener una idea más profunda del rubro en el que se desenvuelve, sus procesos, clientes, proveedores, productos, etc. En esta parte también se hace un análisis del problema con herramientas como Ishikawa y Diagrama de Pareto para encontrar las causas raíces que originaban la baja rentabilidad de la compañía minera.

En el capítulo 4, se describe el desarrollo de la propuesta de un sistema de mantenimiento predictivo, el cual atenderá las fallas más críticas de los equipos críticos, para ello se tuvo que evaluar las fallas, determinar los equipos predictivos y la frecuencia de inspección predictiva a realizar para cada equipo crítico. Además se realizó un programa de capacitación, con lo cual el personal de mantenimiento podrá realizar sin problema las tareas de mantenimiento planteadas. Dentro del sistema se ha considerado la capacitación del personal para reducir los servicios de mantenimiento externo en un 15 %(\$ 231,872), la reducción de las fallas de los equipos críticos en un 40% y la reducción de los costos de repuestos para estos equipos en un 15%(\$351,412). Cabe mencionar que esto incrementó la rentabilidad de 28% a 34%, ya que se incrementó las ventas en 556.73 Toneladas de material fino de cobre.

Para culminar, se realiza una evaluación económica financiera obteniéndose un VAN de \$ 873,143 y un TIR de 37.6%, lo cual indica que el proyecto es RENTABLE.

## **ABSTRACT**

The present thesis has elaborated with the purpose to increase the profitability of Mining Company. For this has posed improve the current management of the maintenance of the teams of area of processing of mineral, through the proposal of a system of predictive maintenance.

In the first chapter has made the diagnostic of the current situation of the company, detected the problems of all the areas and formulated the problem to the that will give solution with this thesis.

In the second chapter quote national and international antecedents under which guides the development of the present thesis; likewise it describes the theory of the maintenance and methods to use for the development of the thesis.

In the third chapter, does a general description of the company to have a deeper idea of the context in which it manages, his processes, customers, providers, products, etc. In this part also does an analysis of the problem with tools like Ishikawa and Diagram of Pareto to find cause them roots that originated the low profitability of the mining company.

In the chapter 4, describes the development of the proposal of a system of predictive maintenance, which will attend fail them more critical of the critical teams, for this had to evaluate fail them, determine the predictive teams and the frequency of predictive inspection to make for each critical team. Besides it made a program of qualification, with which the personnel of maintenance will be able to make without problem the tasks of maintenance posed. Inside the system has considered the qualification of the personnel to reduce the services of external maintenance in a 15 %(\$ 231,872), the reduction of fail them of the critical teams in 40% and the reduction of the costs of spares for these teams in 15%(\$351,412). It fits to mention that this increased the profitability of 28% to 34%, since it increased the sales in 556.73 Tonnes of fine material of copper.

To culminate makes a financial economic evaluation obtaining a VAN of \$ 873,143 and a TIR of 37.6%, which indicates that the project is PROFITABLE.

## INTRODUCCIÓN

La presente tesis se ha elaborado en una Compañía Minera, debido a que se identificaron problemas en el área de procesamiento de mineral debido a la baja disponibilidad de los equipos y esto ocasionaba que la empresa disminuya su rentabilidad.

De acuerdo a lo expuesto anteriormente, la presente investigación sobre la propuesta de implementación de un sistema de mantenimiento predictivo en el área de procesamiento de mineral para incrementar la rentabilidad de la empresa, se describe en los siguientes capítulos.

En el Capítulo I, se muestran los aspectos generales sobre el problema de la investigación.

En el Capítulo II, se describen los planteamientos teóricos relacionados con la presente investigación.

En el Capítulo III, se hace una descripción general de la empresa para tener una idea más profunda del rubro en el que se desenvuelve, sus procesos, clientes, proveedores, productos, etc. En esta parte también se hace un análisis del problema con herramientas como Ishikawa y diagrama de Pareto para encontrar las causas raíces que lo originan.

En el Capítulo IV, se muestra el desarrollo del sistema de mantenimiento predictivo propuesto, en el cual se determinó las fallas críticas de los equipos críticos, la frecuencia de inspección y los equipos necesarios para llevar a cabo las inspecciones.

En el Capítulo V, se describe la evaluación económica y financiera de la propuesta en donde se concluye que el proyecto es Rentable debido a que se obtuvo un VAN de \$ 873,143 y un TIR de 37.6%.

En el Capítulo VI, se enuncian y discuten como se obtuvo cada resultado antes mencionado en el capítulo V.

En el Capítulo VII, plantean las conclusiones y recomendaciones, en donde se concluye que se realizó el diagnóstico, se realizó la propuesta de mejora y se determinó que era Rentable.



## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
PRESENTACIÓN .....	iv
RESUMEN .....	vi
ABSTRACT .....	vii
INTRODUCCIÓN.....	viii
ÍNDICE GENERAL .....	ix
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xii
ÍNDICE DE CUADROS.....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvi
CAPITULO 1: GENERALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN .....	1
1.1 Realidad problemática.....	2
1.2 Formulación del problema .....	9
1.3. Hipótesis.....	9
1.4 Objetivos.....	9
1.4.1 Objetivo General.....	9
1.4.2 Objetivos Específicos .....	9
1.5 Justificación.....	9
1.5.1. Justificación aplicativa o práctica.....	9
1.5.2. Justificación teórica .....	10
1.5.3. Justificación valorativa .....	10
1.5.4. Justificación académica .....	10
1.6. Tipo de investigación .....	10
1.6.1. Por la orientación.....	10
1.7. Diseño de la investigación .....	10

1.7.1.Por el diseño.....	10
1.8.Variables.....	10
1.9.Operacionalización de las variables .....	11
CAPITULO 2: REVISIÓN DE LITERATURA MARCO REFERENCIAL.....	12
2.1.Antecedentes de la Investigación .....	13
A. Nacionales .....	13
B. Internacionales.....	14
2.2.Marco teórico.....	17
2.3.Marco conceptual.....	47
CAPITULO 3: DIAGNÓSTICO DE LA REALIDAD ACTUAL .....	50
3.1.Descripción general de la empresa.....	51
3.1.1.Compañía Minera .....	51
3.1.2.Datos .....	52
3.1.3.Misión y visión .....	52
3.1.4.Principales clientes .....	53
3.1.5.Proveedores .....	54
3.1.6.Competidores .....	55
3.1.7.Principales productos .....	55
3.1.8.Maquinarias y equipos.....	55
3.1.9.Mapa de procesos .....	57
3.1.10.Diagrama de flujo del del procesamiento de mineral .....	58
3.1.11.Proceso productivo .....	58
3.1.12. Organigrama de la empresa .....	60
3.2. Descripción particular del área de la empresa objeto de análisis .....	60
3.2.1. Mapa de procesos del Área de Mantenimiento.....	61
3.2.2. Funcionamiento de la unidad de Mantenimiento .....	61

3.2.3. Objetivos de mantenimiento de planta.....	62
3.2.4. Flujograma del área Mantenimiento .....	63
3.3. Identificación de problemas e indicadores actuales.....	65
3.3.1. Diagrama de Ishikawa .....	65
3.3.2. Matriz de priorización.....	66
3.3.3. Diagrama de Pareto.....	67
3.3.4. Indicadores actuales y metas proyectadas.....	68
CAPITULO 4: SOLUCION PROPUESTA.....	81
4.1. Propuesta de mejora.....	81
4.1.1 Sistema de mantenimiento predictivo.....	82
CAPITULO 5: EVALUACIÓN ECONÓMICA FINANCIERA.....	118
5.1 Inversión para la propuesta de mejora .....	119
5.2 Ahorro implementando la propuesta .....	119
5.3 Estado de Resultados.....	120
5.4 Flujo de Caja .....	121
5.5 Cálculo TIR / VAN .....	121
CAPITULO 6: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	122
6.1 Resultados .....	123
6.2 Discusión .....	124
CAPITULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	125
7.1 Conclusiones.....	126
7.2 Recomendaciones .....	127
BIBLIOGRAFÍA.....	128
ANEXOS .....	131

## INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N° 01: Evolución de Inversión minera global .....	02
Gráfico N° 02: Inversión minera Enero-abril del 2015 .....	03
Gráfico N° 03: Inversión Minera por rubros .....	04
Gráfico N° 04: Exploración minera Perú 2005 - 2015.....	04
Gráfico N° 05: Sector Minería e Hidrocarburos .....	05
Gráfico N° 06: Producción de metales 2015.....	05
Gráfico N° 07: Pronóstico de futura falla .....	25
Gráfico N° 08: Diagrama de flujo del procesamiento de mineral .....	58
Gráfico N° 09: Organigrama funcional de la empresa .....	60
Gráfico N° 10: Elaboración de un programa de mantto. preventivo .....	63
Gráfico N° 11: Planificación mensual del mantenimiento preventivo y correctivo programado – Mantto planta .....	64
Gráfico N° 12: Causas de la baja rentabilidad de la C.M.C.S.A.A .....	65
Gráfico N° 13: Costo real vs Costo presupuestado de Mantto – 2015 .....	70
Gráfico N° 14: Cumplimiento del Programa de Mantenimiento 2015 .....	71
Grafico N° 15: Tareas programadas vs Tareas ejecutadas 2015 (Mes a mes) ....	72
Gráfico N° 16: Cumplimiento del Programa de Mantto 2015 (mes a mes) .....	72
Grafico N° 17: Disponibilidad real vs Disponibilidad presupuestada (Chancado y molienda) .....	75
Grafico N° 18: Diagrama de Pareto de las fallas de las chancadoras .....	97
Grafico N° 19: Diagrama de Pareto de las fallas de los molinos .....	100
Grafico N° 20: Costo real con la mejora vs Costo presupuestado de Mantenimiento.....	108
Grafico N° 21: Cumplimiento del Programa de Mantenimiento con la mejora vs sin la mejora (mes a mes) .....	110

Gráfico N° 22: Disponibilidad real vs Disponibilidad presupuestada (Chancado y molienda) .....	112
---	-----

## INDICE DE CUADROS

Cuadro N° 01: Operacionalización de las variables .....	11
Cuadro N° 02: Diferencias básicas entre las tres técnicas de mantenimiento.....	26
Cuadro N° 03: Técnicas De Mantenimiento Predictivo.....	27
Cuadro N° 04: Diagrama PEPSU de la Compañía Minera .....	54
Cuadro N° 05: Numero de equipos totales .....	56
Cuadro N° 06: Indicadores actuales y propuesta de mejora a utilizar .....	68
Cuadro N° 07: Costos de mantenimiento 2015 .....	69
Cuadro N° 08: Tareas programadas vs Tareas ejecutadas del Programa de Mantenimiento - 2015.....	71
Cuadro N° 09: Costo de repuestos para las chancadoras y molinos 2015.....	73
Cuadro N° 10: Disponibilidad real de los equipos de Chancado .....	74
Cuadro N° 11: Disponibilidad real de los equipos de Molienda .....	74
Cuadro N°12: Disponibilidad real vs Disponibilidad presupuestada .....	75
Cuadro N° 13: Disponibilidad presupuestada vs TMF pagables presupuestado .....	76
Cuadro N°14: Disponibilidad real vs TMF pagables real .....	77
Cuadro N°15: Eficiencia de la producción.....	78
Cuadro N°16: Horas de mantenimiento preventivo (MP) y Mantenimiento correctivo (MC) en el año 2015 .....	79
Cuadro N°17: Costo de capacitación - 2015 .....	80
Cuadro N°18: Propuesta de mejora para las causas raíces .....	82
Cuadro N°19: Número de equipos totales por sistemas.....	83

Cuadro N° 20: Lista de equipos de C.M.C. S.A.A.- 1 .....	84
Cuadro N° 21: Lista de equipos de C.M.C. S.A.A.- 2 .....	85
Cuadro N° 22: Lista de equipos de CMC S.A.A. -3 .....	86
Cuadro N° 23: Codificación de equipos de CMC S.A.A. -1 .....	87
Cuadro N° 24: Codificación de equipos de CMC S.A.A. -2 .....	88
Cuadro N° 25: Codificación de equipos de CMC S.A.A. -3 .....	89
Cuadro N° 26: Matriz de criticidad de los equipos .....	91
Cuadro N° 27: Evaluación de la criticidad de los equipos .....	92
Cuadro N° 28: Resultados de la evaluación de la criticidad .....	93
Cuadro N° 29: Equipos críticos .....	93
Cuadro N° 30: Indicadores actuales de mantenimiento de los equipos críticos.....	94
Cuadro N° 31: Fallas de los chancadoras - 2015.....	95
Cuadro N° 32: Técnicas y equipos predictivos a usar para cada falla de las chancadoras.....	96
Cuadro N° 33: Fallas de los molinos - 2015 .....	98
Cuadro N° 34: Técnicas y equipos predictivos a usar para cada falla de los molinos .....	99
Cuadro N° 35: Equipos predictivos en función de las fallas críticas .....	101
Cuadro N° 36: Equipos predictivos a adquirir para las inspecciones .....	101
Cuadro N° 37: Frecuencia de inspección predictiva.....	103
Cuadro N° 38: Cronograma de capacitación.....	106
Cuadro N° 39: Costos de mantenimiento con la propuesta de mejora .....	107
Cuadro N° 40: % de cumplimiento del programa de mantenimiento con la propuesta de mejora .....	109

Cuadro N° 41: Costo de repuestos para las chancadoras y molinos con la propuesta de mejora .....	111
Cuadro N° 42: Disponibilidad los equipos de Chancado y molienda con la propuesta de mejora .....	111
Cuadro N° 43: Disponibilidad real vs Disponibilidad presupuestada .....	112
Cuadro N° 44: Disponibilidad real vs TMF pagables real.....	113
Cuadro N° 45: Eficiencia del procesamiento de mineral .....	114
Cuadro N° 46: Horas de MP y MC para las chancadoras luego de la propuesta de mejora .....	115
Cuadro N° 47: Horas de MP y MC para los molinos luego de la propuesta de mejora .....	116
Cuadro N° 48: Costo de capacitación con la propuesta de mejora .....	117
Cuadro N° 49: Inversión total de la propuesta de mejora .....	119
Cuadro N° 50: Ingresos obtenidos por la propuesta de mejora.....	120
Cuadro N° 51: Estado de resultados .....	120
Cuadro N° 52: Flujo de caja .....	121
Cuadro N° 53: Indicadores económicos .....	121

## INDICE DE FIGURAS

Figura N° 01: Analizador de Vibraciones .....	28
Figura N° 02: Cámara Termográfica .....	29
Figura N° 03: Medidor de Ultrasonido .....	30
Figura N° 04: Árbol de averías .....	33
Figura N° 05: Símbolos representativos de los árboles de averías .....	33
Figura N° 06: Estudio de análisis eléctrico .....	34
Figura N° 07: Flujograma del proceso predictivo.....	43
Figura N° 08: Equipos dinámicos .....	45
Figura N° 09: Equipos estáticos .....	45
Figura N° 10: Equipos eléctricos .....	45
Figura N° 11: Equipos electrónicos .....	46
Figura N° 12: Planta de la empresa .....	51
Figura N° 13: Ubicación del Yacimiento Condestable .....	52
Figura N° 14: Mapa de procesos generales de la Compañía Minera Condestable S.A.A. ....	57
Figura N° 15: Proceso de Mantenimiento.....	60
Figura N° 16: Mapa de procesos de Mantenimiento .....	61
Figura N° 17: Matriz de priorización para el área de Mantenimiento .....	62
Figura N° 18: Diagrama de Pareto .....	67
Figura N° 19: Procedimiento del mantenimiento predictivo .....	104



# **CAPÍTULO 1: GENERALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN**

## 1.1 Realidad problemática

La minería consiste en obtener minerales y otros materiales terrestres, en este sector se realiza una actividad económica en el que se obtienen beneficios económicos. Esta actividad se divide en dos tipos de minerales: metálicos y no metálicos, los cuales pueden ser energéticos y no energéticos.

El último reporte de tendencias de inversión minera en exploraciones a nivel mundial (SNL Metals & Mining) señala que durante el 2015 hubo una caída de -19% de las inversiones globales respecto al 2014, con lo cual se produce una reducción por cuarto año consecutivo. Este nivel de inversión es el más bajo en los últimos seis años. De hecho, el retroceso de la inversión mundial en exploraciones ha sido abrupto desde el 2012 con una caída acumulada de -55% (ver gráfico N° 01).

A pesar de este retroceso, América Latina continúa ocupando el primer lugar como destino en las inversiones en exploración. De hecho, en este contexto de crisis, la participación de la región en la inversión minera ha aumentado de 27% en el 2014 a 28% en el 2015. Le siguen Norteamérica (Canadá y EEUU) con 22%, Australia y el Sudeste Asiático con 17%, África con 14% y el resto del mundo con 19%.

**Grafico N° 01: Evolución de Inversión minera global**



**Fuente: SNL Metals & Mining**

A nivel de ranking de países, en el 2015 Perú ha pasado al sexto lugar como destino de las inversiones mundiales en exploración minera (el 2014 ocupaba el séptimo lugar), por debajo de Chile pero superando a México (este último con un fuerte retroceso) que en el 2014 ocupaba el cuarto lugar del ranking.

Estos tres países en América Latina concentran alrededor del 65% de las inversiones mineras en la región.

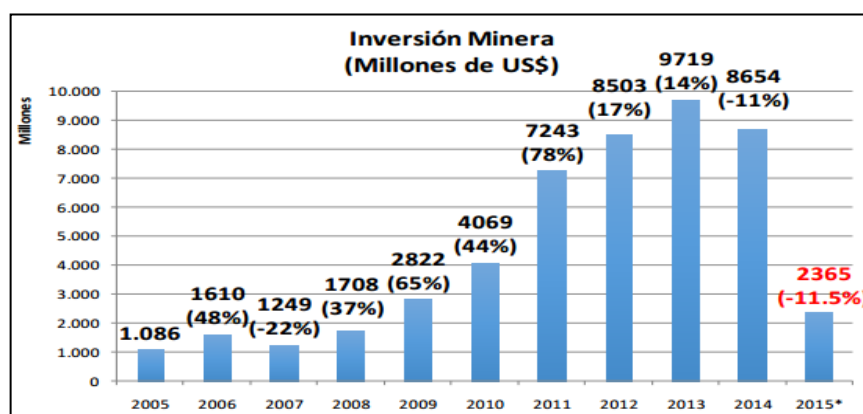
En el Perú la inversión minera total registró una caída de -16.1% respecto a la del año 2014, y desde el 2012 registra una caída acumulada de -23.2%. Al finalizar el 2015, se observa que la caída de la inversión minera en Perú ha afectado a todos sus rubros: la inversión en equipamiento de planta cayó en -41.4%, equipamiento minero en -6.1%, exploración en -28.6%, explotación en -15.7%; infraestructura en -16.4%, y preparación en -10.5%.

La exploración minera es el rubro que indica el futuro de las inversiones mineras y en el caso peruano durante el 2015, ésta ha tenido un importante retroceso en Perú.

La inversión minera acumulada a abril del 2015 alcanzó un total US\$ 1,365'400,177 millones, lo que representa una caída de -11.5% respecto a la inversión del sector en similar período del 2014.

Este resultado corrobora una reducción en la inversión minera tal como sucedió el 2014, luego de crecer de manera sostenida el 2011 en 78%, el 2012 en 17% y el 2013 en 14%. De mantenerse esta tendencia, durante el 2015 la inversión total del sector minero se ubicaría entre los US\$ 7.000 y US\$ 8.000 millones, similar a la obtenida en el 2011 y 2012 y superior a los niveles alcanzados durante la década pasada.

**Grafico N° 02: Inversión minera Enero-abril del 2015**

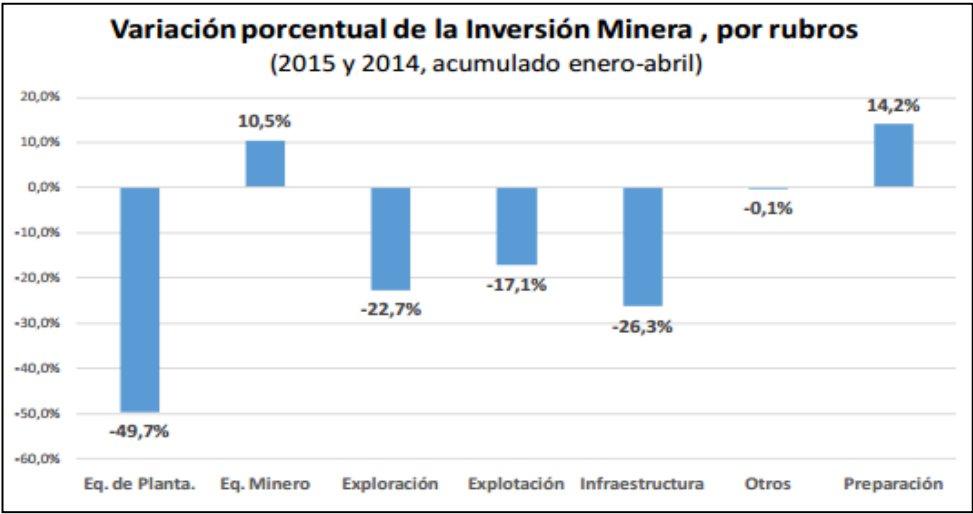


**Fuente: Ministerio de Energía y Minas (MEM)**

A abril del 2015, se observa que la caída de la inversión minera ha afectado a cuatro de sus siete rubros. Entre enero y abril, la inversión en equipamiento de planta cayó en -49.7%, exploración en -22.7%, explotación en -17.1%; e

inversión en infraestructura en -26.3%. Tan solo los rubros de equipamiento minero (10.5%) y preparación (14.2%) muestran tasas positivas.

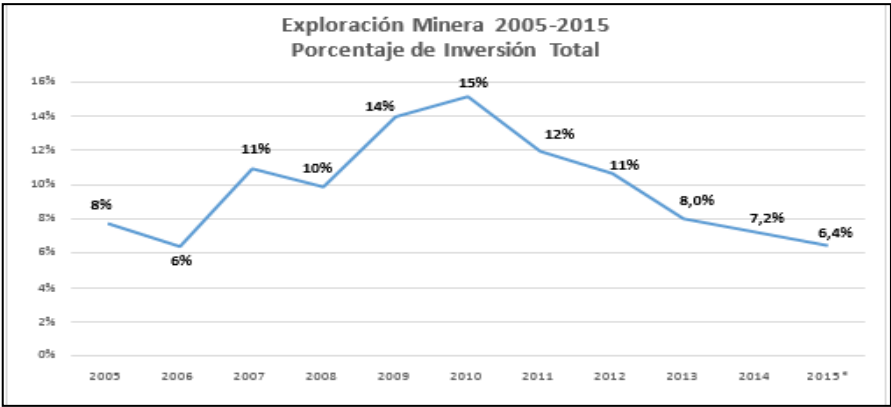
**Grafico N° 03: Inversión Minera por rubros**



**Fuente: Ministerio de Energía y Minas (MEM)**

La exploración minera es el rubro que indica el futuro de las inversiones mineras y, durante el 2015, continúa retrocediendo. Igualmente, la participación de la inversión en exploración dentro del total de inversiones mineras ha venido cayendo durante los últimos cinco años. Como se observa en el gráfico siguiente, la participación de la exploración ha retrocedido de un 15% en el 2010, a 8% en el 2013, 7.2% en el 2014, llegando a representar solo un 6.4% de las inversiones totales durante el 2015.

**Grafico N° 04: Exploración minera Perú 2005 - 2015**



**Fuente: Ministerio de Energía y Minas (MEM)**

El sector minería e hidrocarburos en enero de 2015 creció en 5,60% con respecto al nivel de producción de similar mes del año 2014, luego de la contracción registrada en el mes precedente, sustentado en el importante avance de la actividad minera metálica que mejoró en 5,76% ante los volúmenes ascendentes de producción de casi todos los productos componentes, con excepción de estaño, a los que sumó el subsector de hidrocarburos con una variación positiva de 5,06% impulsado por la mayor explotación de líquidos de gas natural y gas natural.

#### **Grafico N° 05: Sector Minería e Hidrocarburos**

Sector Minería e Hidrocarburos: Enero 2015 (Año base 2007)			
Sector	Ponderación	Variación porcentual	
		Enero 2015/2014	Feb 2014-Ene 2015/ Feb 2013-Ene 2014
Sector Minería e Hidrocarburos	100,00	5,60	-0,76
Minería Metálica	84,64	5,76	-2,25
Hidrocarburos	15,36	5,06	4,58

**Fuente: Ministerio de Energía y Minas (MEM)**

Los productos de mayor contribución al desempeño de la minería metálica en el primer mes del 2015, fueron el zinc 12,63%, molibdeno 24,59% y plata 12,02% con un aporte conjunto de 3,50 puntos porcentuales al resultado del sector y en menor magnitud por los incrementos en la producción de plomo, hierro, oro y cobre. Cabe resaltar que, en enero la producción de la mayoría de metales logró revertir la tendencia decreciente de los meses anteriores, como el molibdeno que presentó tasas negativas desde junio 2014, cobre desde julio 2014, plata desde octubre 2014 y hierro desde noviembre pasado.

#### **Grafico N° 06: Producción de metales 2015**

Producto	Ponderación	Variación porcentual	
		Enero 2015/2014	Feb 2014-Ene 2015/ Feb 2013-Ene 2014
Cobre	30,16	0,36	-0,60
Oro	20,60	1,92	-9,97
Zinc	15,39	12,63	-0,66
Plata	7,34	12,02	3,50
Molibdeno	5,43	24,59	-6,58
Plomo	3,13	16,47	5,29
Hierro	1,78	13,78	8,11
Estaño	0,81	-36,18	-7,12

**Fuente: Ministerio de Energía y Minas (MEM)**

La producción de zinc registró una variación positiva de 12,63%, manteniendo una dinámica ascendente por siete meses sucesivos, en base a los

incrementos reportados por Antamina, Los Quenuales, Raura, Chinalco Perú, Colquisiri, Volcan, Caudalosa, Austria Duvaz, San Igancio de Morococha, el aporte de la nueva productora Alpamarca y de Sociedad Minera el Brocal que en enero 2014 no procesó concentrados de zinc en su unidad Colquijirca N° 2. El alza de 24,59% en la producción de molibdeno se derivó del mayor tratamiento en Southern Perú Copper Corporation y la contribución de Chinalco Perú. En el caso de la plata (12,02%) fue relevante el mayor nivel producido por Chinalco Perú, Buenaventura y el aporte de Alpamarca, a las que se sumaron los incrementos en el Brocal, Administradora Cerro, Raura, Pan American Silver, Colquisiri y Atacocha. En el mismo sentido, el crecimiento de 16,47% en la producción de plomo, se sustentó en la contribución de El Brocal ausente en la base de comparación y de Alpamarca, además de las alzas reportadas por las compañías Raura, Atacocha, Colquisiri, Catalina Huanca y de Consorcio de Ingenieros Ejecutores. A su vez, la producción de hierro aumentó en 13,78% por el mayor contenido metálico en el material tratado en Shougang Hierro Perú. Por su parte, la producción de oro creció en 1,92%, manteniendo una trayectoria ascendente por cuarto mes consecutivo, ante la mayor actividad extractiva de Yanacocha, Barrick Misquichilca en su unidad Acumulación Alto Chicama, Consorcio Minero Horizonte, La Arena, Veta Dorada, Antapaccay y Yanaquihua. En el caso del cobre destacó, la participación de Minera Chinalco Perú, Antapaccay, Southern Perú Copper Corporation y el aporte de la nueva productora Hudbay Perú.

Al cierre del cuarto trimestre del 2015, los resultados negativos de algunas empresas mineras del país se vieron explicados no solo por causas operativas, sino por el registro de castigos a inversiones de largo plazo, como las correspondientes a maquinaria, construcción de plantas, etc., que resultaron menos rentables de lo esperado, así como por la desvalorización de los inventarios que requerían precios más altos a los que da actualmente el mercado.

Con respecto a las empresas peruanas que vieron afectadas sus rentabilidades, tenemos a la minera Volcán, cuyos castigos llegaron a

US\$470 millones (después de impuestos). Esta empresa registró además mayores impactos en Cerro de Pasco y Alpamarca.

Otro caso es el de Minsur, cuya desvalorización alcanzó los US\$486 millones y tuvo incluso que replantear un proyecto de cobre que esperaba una rentabilidad de US\$840 millones y obtuvo una de apenas US\$200 millones de su flujo de dinero a la fecha.

Asimismo, en el caso de las rentabilidades esperadas para este año y los posteriores, se puede decir que se han sincerado las expectativas.

En este marco, la empresa Compañía Minera Condestable S.A.A. siendo su actividad principal la extracción de concentrado de cobre (Sulfuros Primarios de Cobre), Cabe mencionar que actualmente es uno de los 10 principales productores de cobre en el Perú.

En la Compañía Minera Condestable S.A.A., durante los 3 últimos años su capacidad de extracción se ha ido incrementando de manera paulatina debido a la ampliación de las áreas de molienda, flotación y abastecimiento de agua, en el 2013 se extrajeron 6300TMSD, en el 2014 y 2015 se logró producir 7000TMSD.

El inconveniente es que actualmente la empresa Compañía Minera Condestable S.A.A., no llega a cumplir las metas de procesamiento de mineral planificado. Cabe mencionar que en el año 2015 se tuvo como meta de procesamiento de mineral un total de 2,471,000 TMSD pero lo que realmente se proceso fue 2,317,372 TMSD significando que se obtuvo un % de eficacia de la producción del 93.8%, debido a que se tuvo 834 paros no programados debido a fallas en la maquinaria que es responsable del procesamiento del mineral extraído de la mina. Cabe mencionar que el número de fallas comunes que se obtuvo fue de 42 para las chancadoras y 45 para los molinos.

Además se encontró otros problemas que afectan a la rentabilidad de la empresa como: los elevados costos del área de mantenimiento, el incumplimiento de su programa de mantenimiento, la inadecuada gestión de repuestos, la falta de equipo predictivos y la falta de capacitación de los trabajadores del área de mantenimiento.

En el año 2015 el área de mantenimiento, obtuvo como costo total el valor de \$7,150,677, siendo el monto presupuestado \$6,528,809 . Lo cual representó un incremento sobre el presupuesto de 10%(\$621,868).

También se determinó que área de mantenimiento obtuvo un cumplimiento del programa de mantenimiento del 81% debido a que de las 2573 tareas programadas solamente se llegó a ejecutar 2079 tareas.

Con respecto a la gestión de repuestos se determinó que se gastó \$1,911,027 en repuestos para las chancadoras y \$431,723 en repuestos para los molinos, sumando un total de \$2,342,750, llegando a representar el 81% del monto total gastado en repuestos el cual fue de \$2,907,399.

Cabe mencionar que actualmente la empresa no cuenta con equipos que le permitan hacer una detección y seguimiento del estado de los componentes de la maquinaria, tampoco practica el mantenimiento predictivo dentro de sus actividades de mantenimiento

Por ultimo en lo que se refiere a la inversión en capacitación, la empresa destinó \$ 45,190 en capacitación (asesores y consultores), esto significa que la empresa destino un 1% del total de sus costos totales del área de mantenimiento, esto demuestra que no se invierte mucho dinero en capacitación del personal que se encarga de realizar las labores de mantenimiento

Para el área de mantenimiento los equipos deben tener una disponibilidad deseada de 97.07% para los molinos y para las chancadoras un 98%.Sin embargo en el año 2015, la empresa obtuvo en promedio una disponibilidad de 93.92% en los equipos de chancado y 94.16% para los equipos de molienda.

Todos estos factores que afectan a la maquinaria que es responsable de procesar el mineral, se ven reflejados en la rentabilidad de la empresa, debido a que al no cumplir con las metas planificadas como sucedió en el año 2015 en donde la meta fue de 2,471,000 TMSD pero solo se llegó a cumplir la meta a un 93.8% , la empresa deja de procesar TMSD lo cual conlleva a que la mina disminuya su rentabilidad.

Todo lo antes mencionado ocasionó que se tenga una eficiencia de 93.8%, significando que la empresa dejo de vender un total de 1219 TMF que



equivale a un monto de \$6,982,143 o su equivalente en soles de S/. 23,041,075.

Con la propuesta de un sistema de mantenimiento predictivo en el área de procesamiento de mineral se espera reducir el número de fallas de la maquinaria, lo cual aumentaría la disponibilidad de los equipos a la disponibilidad meta; reduciendo los costos de mantenimiento y aumentando las toneladas de mineral procesado lo que se traduciría en mayores libras de mineral para la venta aumentando así la rentabilidad de la Compañía Minera Condestable S.A.A.

## **1.2 Formulación del problema**

¿Cuál es el impacto económico de la propuesta de un sistema de mantenimiento predictivo en el área de procesamiento de mineral sobre la rentabilidad de la Compañía Minera?

## **1.3 Hipótesis**

La propuesta de un sistema de mantenimiento predictivo en el área de procesamiento de mineral incrementa la rentabilidad de una compañía minera.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo General**

- Incrementar la rentabilidad de la Compañía Minera. a través de la propuesta de un sistema de mantenimiento predictivo en el área de procesamiento de mineral.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Realizar el diagnóstico de la situación actual del proceso de mantenimiento de la Compañía Minera
- Elaborar el Sistema de Mantenimiento predictivo para la Compañía Minera.
- Determinar los beneficios económicos de implementar la propuesta de mejora.

## **1.5 Justificación**

### **1.5.1 Justificación aplicativa o práctica**

El presente estudio se justifica, debido a que actualmente la Compañía Minera, tiene problemas con el estado de la maquinaria, siendo en su mayoría paros no programados de la maquinaria, en las cuales se tiene que realizar un mantenimiento correctivo.

### **1.5.2 Justificación teórica**

El presente estudio se justifica, debido a que actualmente en el área se aplica el mantenimiento correctivo y preventivo, pero se ha comprobado que el mantenimiento predictivo es una buena opción para aumentar la confiabilidad y disponibilidad de la maquinaria y equipos en los cuales se aplique este tipo de mantenimiento.

### **1.5.3 Justificación valorativa**

El presente estudio se justifica, ya que el diseño de un sistema de mantenimiento predictivo permitirá estandarizar y mejorar los procedimientos de trabajo en la Compañía Minera.

### **1.5.4 Justificación académica**

El presente estudio se justifica, ya que, al aplicar herramientas de Ingeniería, servirá como guía o instrumento de consulta para futuras investigaciones acerca de mantenimiento predictivo.

## **1.6 Tipo de investigación**

### **1.6.1 Por la orientación**

Aplicada

## **1.7 Diseño de la investigación**

### **1.7.1 Por el diseño:**

Pre – Experimental

## **1.8 Variables**

- **Variable independiente**

Propuesta de un sistema de Mantenimiento predictivo

- **Variable dependiente**

Rentabilidad de la Compañía Minera.

## 1.9 Operacionalización de las variables

**Cuadro N° 01: Operacionalización de las variables**

OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES								
TÍTULO: “PROPUESTA DE UN SISTEMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN EL ÁREA DE PROCESAMIENTO DE MINERAL PARA INCREMENTAR LA RENTABILIDAD DE UNA COMPAÑÍA MINERA”.								
PROBLEMA	HIPÓTESIS	OBJETIVO GENERAL	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	VARIABLES	MÉTODOS	TEMAS	INDICADOR	FÓRMULA
¿Cuál es el impacto económico de la propuesta de un sistema de mantenimiento predictivo en el área de procesamiento de mineral sobre la rentabilidad de la Compañía Minera?	La propuesta de un sistema de mantenimiento predictivo en el área de procesamiento de mineral incrementa la rentabilidad de una compañía minera.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Incrementar la rentabilidad de la Compañía Minera. a través de la propuesta de un sistema de mantenimiento predictivo en el área de procesamiento de mineral.</li> </ul>	Realizar el diagnóstico de la situación actual del proceso de mantenimiento de la Compañía Minera	INDEPENDIENTE: Propuesta de un Sistema de Mantenimiento predictivo	Plan de mantenimiento predictivo	Establecer procedimiento y frecuencia para la inspección predictiva	Frecuencia de inspección predictiva	$I = C \times F \times A$
						Técnicas Predictivas	Aumentar el % de Efectividad del mantenimiento	$OEE = \text{Disp.} \times \text{Rend} \times \text{Calidad}$
						Perfil de puesto para mecánicos especialista en técnicas predictivas	Personal de mantto. con un perfil definido	$(\text{Personas no calificadas} / \text{Total de personas}) \times 100$
						Programa de Capacitación	Mecánicos con formación adecuada	$(\text{Horas de capacitación dictada (h)} / \text{Personal de la empresa, N° de personas}) \times 100$
			<ul style="list-style-type: none"> <li>Elaborar el diseño del sistema de Mantenimiento predictivo para la Compañía Minera.</li> </ul>	Gestión de mantenimiento	Indicadores de gestión de mantenimiento		Confiabilidad	$MTBF = TTF / NF$
							Mantenibilidad	$MTTR = TTR / NF$
							Disponibilidad	$MTBF / (MTBF + MTTR)$
			<ul style="list-style-type: none"> <li>Determinar los beneficios económicos de implementar la propuesta de mejora.</li> </ul>	DEPENDIENTE: Rentabilidad de la Compañía Minera	Análisis financiero	Ratios financieros	Retorno sobre inversión (ROI)	$(\text{Ingreso} - \text{Inversión} / \text{Inversión}) \times 100\%$

**Fuente: Elaboración propia**

## **CAPÍTULO 2: REVISIÓN DE LITERATURA MARCO REFERENCIAL**

## 2.1 Antecedentes de la Investigación

### A. Nacionales

1. Cerrón J. (2013), *“Mejora del sistema de gestión de mantenimiento predictivo para la flota de tractores de cadenas Caterpillar® D10T basado en el ciclo de Deming para mejorar el nivel de servicio al producto para la empresa Ferreyros S.A. en la operación minera Yanacocha”*, Tesis de grado para optar el título profesional de Ingeniero Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad Privada del Norte, Cajamarca-Perú.

El presente trabajo tuvo como objetivo general la mejora del sistema de gestión del Mantenimiento Predictivo actual en la flota de tractores de cadenas Caterpillar® D10T para mejorar el nivel de servicio de atención de la empresa Ferreyros S.A. para el cliente minero: Minera Yanacocha Sociedad de Responsabilidad Limitada en la región de Cajamarca – Perú. Este proyecto redujo el índice de mantenimientos correctivos no planificados de 60% a 40% en un periodo de 1 año y elimino completamente los mantenimientos correctivos adicionales (M.C.A.) que son los mantenimientos correctivos realizados por encima del 40% del tiempo de las paradas, como consecuencia de esta mejora se incrementó la disponibilidad de la flota de tractores de cadenas Caterpillar® D10T, mejoro la confiabilidad de los componentes mayores en los equipos; eliminó los eventos y códigos recurrentes de alarmas generan paradas no programadas, esto se logró en base del metodología y estrategias del circulo de calidad planteadas por E. Deming. La viabilidad de esta mejora fue viable, porque registro un valor del “VAN” doce millones novecientos cincuenta y cuatro mil novecientos y uno nuevos soles con sesenta y cuatro céntimos. (S/. 12'954'901.64), con un “TIR” de 860.8%, que es 854.25% mayor que la mejora alternativa de inversión de fondos mutuos del mercado actual. Y el retorno de inversión de este proyecto tiene un valor de doscientos ochenta y ocho nuevos soles con ochenta y nueve céntimos (S/. 288.89).

2. Félix D. y Castañeda O. (2013), *“Diseño e implementación de un sistema de mantenimiento preventivo basado en la lubricación que permita mejorar la confiabilidad de las maquinarias en la planta Merrill Crowe de Minera Coimolache S.A., Tesis de grado para optar el título profesional de Ingeniero Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad Privada del Norte, Cajamarca-Perú.*

En la presente tesis, se realizó un diagnóstico de la gestión actual del sistema de lubricación encontrando estos problemas: temperaturas de funcionamiento elevadas, fugas de lubricante, lubricante inadecuado y tiempo de demora para realizar las tareas de lubricación. Dentro de las principales causas de los problemas del sistema de lubricación actual se encontraron: Gestión de la lubricación, Infraestructura, Método y Entrenamiento. Para ello se planteó las siguientes propuestas de mejora: estandarización y consolidación de lubricantes, almacenamiento y manejo de lubricantes, control de la contaminación, educación y entrenamiento del personal, prácticas de lubricación y re lubricación, procedimientos y guías de lubricación.

Esta tesis, logro implementar el sistema de mantenimiento preventivo basado en al lubricación y se logró mejorar la confiabilidad de la maquinaria de 0.5 a 0.83 y se logró reducir el tiempo de cambio de aceite en 54.98% y el re-engrase en 50.38%.

Además esta tesis servirá de aporte debido a que muestra paso a paso como aplicar técnicas predictivas como el análisis de aceite, para determinar el tiempo en el cual se debe cambiar el aceite de una determinada maquinaria, logrando así aumentar la confiabilidad.

## **B. Internacionales**

1. Villa, Luisa (2011), *“Mantenimiento predictivo aplicado a máquinas sometidas a velocidad y carga variables mediante Análisis de órdenes ”, Tesis de grado Ingeniera Mecánica, Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad de Valladolid, España.*

El objetivo principal es el diagnóstico de fallos por medio del análisis de vibraciones, en máquinas que operan en condiciones de velocidad y carga variable. Para lograr este objetivo se desarrolló una plataforma de test basada en la configuración de un aerogenerador de velocidad variable con el objetivo de simular diferentes tipos de defecto.

En lo que se refiere al diagnóstico de fallos, se desarrolló una metodología para seleccionar las variables y sensores más sensibles a las condiciones de funcionamiento y fallos del sistema y un algoritmo que permite realizar una diagnosis de los diferentes tipos de fallos del sistema bajo condiciones de velocidad y carga variables.

En esta tesis se comprobó cómo a través de un modelo estadístico de vibraciones que tiene en cuenta el rango completo de trabajo del banco de pruebas (velocidad y carga) como parámetros independientes, se pueden determinar las variables que son más sensibles a estos parámetros y al fallo. Asimismo, se puede reducir el número de variables y los sensores a analizar. Esta reducción es vital de cara a una posterior implantación industrial más sencilla y económica. El algoritmo de diagnóstico desarrollado y que se basa en la significancia estadística del modelo de fallo presentado, permite realizar una detección temprana de los diferentes fallos simulados.

*2. Amador L. (2005), "Diseño de un plan de mantenimiento predictivo para la flota de equipos pesados de la gerencia de PMH de la empresa C.V.G. Ferrominera Orinoco C.A.", Tesis de grado, Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad Nacional experimental Politécnica, Venezuela.*

Esta tesis se desarrolló inicialmente analizando estadísticamente la gestión de mantenimiento del Taller de Equipos Pesados, en función del número de fallas y demoras presentadas por los equipos en un período de 9 meses, determinando de esta manera la disponibilidad, confiabilidad y criticidad de éstos. A través de este estudio se pudo evidenciar que ninguna de las flotas de equipos de la Gerencia cumple con la disponibilidad requerida por ésta (85 % de disponibilidad) para realizar las

distintas labores de manejo, carga, acarreo y limpieza del mineral, lo cual muestra una alta criticidad de éstos y la necesidad de la aplicación de un plan de mantenimiento predictivo que disminuya las demoras en el mantenimiento de los equipos.

Esta tesis, servirá de aporte debido a que se logra demostrar que la aplicación de un plan de mantenimiento predictivo basado en el análisis del aceite proporciona indirectamente la condición de los equipos en relación a los sistemas hidráulicos, tren de potencia y motor diésel, permitiendo controlar los niveles de contaminación y desgaste.

3. Ruiz, Adriana (2011), *“Modelo para la implementación de mantenimiento predictivo en las facilidades de producción de petróleo, Tesis de grado Ingeniera Mecánica, Facultad de Ingenierías Físico - Mecánicas, Universidad de Internacional de Santander, Bucaramanga*

En las instalaciones de la petrolera Hocol S.A. – Neiva, donde sus activos desarrollan el proceso de extracción de crudo, se requería manejar una disponibilidad mecánica superior al 95%, para lograr la utilización que asegurara el máximo margen de negocio.

Durante el segundo semestre, se obtuvieron valores negativos del orden de 85% y 90%, como producto de fallas recurrentes de equipos principales y auxiliares del sistema eléctrico (sistema con menor confiabilidad durante esta situación), afectando las utilidades tanto de Hocol S.A. como las del proveedor de mantenimiento.

Las causas planteadas demostraron que los problemas señalados se pudieron prever con el uso de sencillas pruebas para detectar las incipientes fallas de los equipos involucrados en la producción. Como propuesta de solución se planteó la implementación de un modelo de mantenimiento predictivo.

En esta tesis se logró a partir de la implementación del modelo incrementar la disponibilidad mecánica de los sistemas paso de 95% al 97%. Esto como consecuencia de la eliminación de defectos en los sistemas red eléctrica y los sistemas de gas de las diferentes baterías



(como se observó, fueron problemas similares). También se logró tener una mayor disponibilidad de los sistemas, debido a que se redujeron las pérdidas de producción, disminuyendo en 14000 BIs entre el 2008 y 2010, comprobando que el modelo impactó el negocio, maximizando el margen de negocio con una mayor producción de crudo (menos pérdidas). determinada maquinaria, logrando así aumentar la confiabilidad.

## **2.2 Marco teórico**

### **A. Definiciones de Mantenimiento**

A continuación se detallarán algunas conceptualizaciones relacionadas con la palabra mantenimiento, así como el alcance de la misma:

- Mantenimiento es: Asegurar que todo activo continúe desempeñando las funciones deseadas.
- De manera sencilla, es el conjunto de trabajos necesarios para asegurar el buen funcionamiento de las instalaciones.
- De manera precisa, es un conjunto de técnicas y sistemas que permiten prever las averías, efectuar revisiones, engrases y reparaciones eficaces, dando a la vez normas de buen funcionamiento a los operadores de las máquinas, a sus usuarios, contribuyendo a los beneficios de la empresa. Es un órgano de estudio que busca lo más conveniente para las máquinas, tratando de alargar su vida de forma rentable.
- Metafóricamente hablando: El mantenimiento es la medicina preventiva y curativa de las máquinas, equipos, instalaciones, etc. (Mantenimiento Industrial, (s.f.))

### **B. ¿Por qué debemos hacer mantenimiento?**

Las razones o los fundamentos por los cuales hacemos mantenimiento pueden ser resumidas en las siguientes categorías (sobre la base de los beneficios logrados). (Durán, 2003)

#### **1. Prevenir o disminuir el riesgo de fallas**

Busca bajar la frecuencia de fallas y/o disminuir sus consecuencias (incluyendo todas sus posibilidades). Esta es una de las visiones más básicas del mantenimiento y en muchas ocasiones es el único motor que mueve las estrategias de mantenimiento de algunas empresas, olvidándose de otros elementos de interés nombrados abajo. (Durán, 2003)

## **2. Recuperar el desempeño**

Con el uso de los equipos el desempeño se puede ver deteriorado por dos factores principales: Pérdida de capacidad de producción y/o aumento de costos de operación. Grandes ahorros se han logrado al usar éste como gatillo para el mantenimiento, ya que a veces este factor es de dimensiones mayores a las fallas a evitar, ejemplos típicos incluyen: Cambios de filtros de gas, aceite, lavado de compresores axiales, etc. (Durán, 2003)

## **3. Aumentar la vida útil/diferir inversiones**

La vida útil de algunos activos se ve seriamente afectada por la frecuencia/calidad del mantenimiento. Por otra parte se pueden diferir grandes inversiones, como por ejemplo reconstrucciones de equipos mayores. Encontrar el punto exacto de máximo beneficio económico es de suma importancia aquí. A modo de ejemplo la frecuencia con la cual se hace mantenimiento mayor de una turbina a gas se ve influenciada por la frecuencia de paradas de la misma. (Durán, 2003)

## **4. Seguridad, ambiente y aspectos legales**

Muchas tareas de mantenimiento están dirigidas a disminuir ciertos problemas que puedan acarrear, responsabilidades legales relativas a medio ambiente y seguridad. El valor de dichas tareas es difícil de evaluar. El uso de herramientas avanzadas de computación ha permitido en algunos casos evaluar la relación costo/riesgo y así determinar los intervalos óptimos de mantenimiento. (Durán, 2003)

## **5. Factor Brillo**

La imagen pública, aspectos estéticos de bienes, la moral de los trabajadores, etc. Son factores importantes a la hora de elegir tareas e intervalos de

mantenimiento. Por ejemplo la pintura de una fachada de edificio: el intervalo entre pintadas es modulado más por la apariencia, que por el deterioro de la estructura por baja protección. (Durán, 2003)

## **C. Tipos de Mantenimiento**

### **1. MANTENIMIENTO PREDICTIVO**

#### **1.1 Definición**

Básicamente, este tipo de mantenimiento consiste en reemplazar o reparar partes, piezas, componentes o elementos justo antes que empiecen a fallar o a dañarse. En el programa de Mantenimiento Predictivo se analizan las condiciones del equipo mientras este se encuentra funcionando o en operación. Consiste en el análisis de las operaciones de mantenimiento para su optimización, permitiendo de esta manera ajustar las operaciones y su periodicidad a un máximo de eficiencia. Esto es siempre menos costoso y más confiable que el intervalo de mantenimiento preventivo de frecuencia fija, basado en factores como las horas máquina o alguna fecha prefijada. El combinar Mantenimiento Preventivo y Predictivo ayuda significativamente a reducir al mínimo el Mantenimiento Correctivo no programado o forzado.

El realizar controles aleatorios o basados en la experiencia de los operadores de los equipos y de la gente de mantenimiento, generalmente es un soporte a la hora de evitar daños mayores o que se produzcan por efecto de las paradas forzadas. (Sarzosa, 2008)

#### **1.2 Ventajas del Mantenimiento Predictivo**

- Disminuye costo de mantenimiento.
- Aprovecha vida útil completa.
- No aplica actividades preventivas innecesarias.
- Se fundamenta en el monitoreo de condiciones. (Sarzosa, 2008)

#### **1.3 Desventajas del Mantenimiento Predictivo**

- No permite tan buena planificación como el mantenimiento preventivo.
- Depende de la confiabilidad de los diagnósticos.

- Requiere instrumentos sofisticados. (Sarzoza, 2008)

## **2. MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

### **2.1 Definición**

El Mantenimiento Preventivo se define como el conjunto de tareas de mantenimiento necesarias para evitar que se produzcan fallas en instalaciones, equipos y maquinaria en general (prevenir), es denominada también por algunos autores como Mantenimiento Proactivo Programado. El objetivo último del Mantenimiento Preventivo es asegurar la disponibilidad permanente de las edificaciones, equipos, sistemas e instalaciones en una Organización, Institución o Empresa, evitando al máximo las paradas forzadas e interferencias en los procesos y actividades inherentes de la Empresa y a las personas que laboran en ella.

El Mantenimiento Preventivo es además un proceso planificado, estructurado y controlado de tareas de mantenimiento a realizar dentro de las recurrencias establecidas, las mismas que generalmente son definidas por los fabricantes, y a falta de estas se puede recurrir a las mejores prácticas del mercado de este tipo de servicios, también llamados de Manutención.

Las actividades básicas y más generales definen la cobertura del mantenimiento preventivo, entre las cuales se pueden mencionar:

- Limpieza y aseo de: edificaciones, equipos, instalaciones, maquinaria, sistemas, etc.
- Lubricación general de automotores, equipos y maquinaria que tengan partes móviles, rótulas o trabajen con sistemas que incluyan aceites de circulación y/o hidráulicos.
- Inspecciones periódicas y recurrentes (tiempo definido).
- Cambio de piezas y partes, así como reparaciones menores y revisiones generales.

- Ajustes y Calibraciones.
- Supervisión y Control a través de validaciones de tiempo de servicio de las instalaciones, equipos y maquinarias en general (control de dispositivos de medición de horas de trabajo, por ejemplo: horómetros). (Sarzosa, 2008)

## **2.2 Objetivos y Alcance del MPv.**

- Entre los objetivos más importantes del Mantenimiento Preventivo podemos citar los siguientes:
- Eliminación o drástica reducción de los costos de reparaciones innecesarias correctivas.
- Optimización de los recursos humanos que intervienen en este proceso (recursos propios o externos).
- Reducción de detenciones e interferencias en los procesos asignados a las demás áreas o centros de actividad de una empresa o institución.
- Eliminación de los daños de consideración y por ende aumentar la eficiencia de los equipos e instalaciones en general.
- Alargar la vida útil de una instalación, maquinaria o equipo.
- Reducir tratando de eliminar paradas forzadas y no programadas en las máquinas, equipos e instalaciones en los procesos productivos.
- Reducir al mínimo los costos que se generan por la producción de daños causados por las paradas forzadas o imprevistas en los procesos de fabricación.
- Establecer los programas más apropiados de mantenimiento evitando las fallas sobre la base de las recomendaciones de los fabricantes o las mejores prácticas en la actividad.
- Evitar el desgaste en los equipos por falta de ajustes, calibraciones, reajustes o cambio de los lubricantes y/o grasas. (Sarzosa, 2008)

### **2.3 Ventajas del Mantenimiento Preventivo**

- Evita grandes y costosas reparaciones.
- Aumenta la disponibilidad.
- Permite planificar recursos y coordinar actividades.
- Posibilita que los equipos cubran su amortización total.(Martínez, 2010)

### **2.4 Desventajas del Mantenimiento Preventivo**

- Actividades preventivas tienen un costo y disminuyen la disponibilidad.
- Desaprovecha vida útil.
- Frecuencias inadecuadas podrían permitir fallas.
- Requiere optimizar programación mediante modelos.
- Requiere de 2 a 4 años para implantarlo.
- Tiene fundamentos estadísticos y depende de la muestra.(Martínez, 2010)

Adicionalmente, en este tipo de mantenimiento es válido mencionar la siguiente teoría.

#### **Teoría de Sustituciones Preventivas**

- Una sustitución preventiva es justificable o válida económicamente cuando:
- La tasa de fallas es creciente
- El costo de la emergencia es superior al de la sustitución preventiva
- Política de sustitución con un solo componente:
  - A edad constante (cuando falla o alcanza la edad)
  - A fecha constante (cuando falla o con cadencia prefijada)
- Política de sustitución con varios componentes:
  - Estática (intervalo de sustitución fijo)
  - Dinámica (intervalo recalculado en cada renovación).(Martínez, 2010)

En base a esta teoría, podemos decir que las características que presenta este tipo de mantenimiento, se ven supeditadas a las políticas económicas de cada empresa, generando en la mayoría de los casos un intervalo de recalcu lo en cada renovación cuando se realiza una sustitución con varios componentes, ya que de esta manera se puede aprovechar mejor la vida útil de los equipos y de sus componentes y también aminorar los costos de reposición.

### **3. MANTENIMIENTO CORRECTIVO**

#### **3.1 Definición**

Acción de carácter puntual a raíz del uso, agotamiento de la vida útil u otros factores externos, de componentes, partes, piezas, materiales y en general, de elementos que constituyen la infraestructura o planta física, permitiendo su recuperación, restauración o renovación, sin agregarle valor al establecimiento.

También denominado mantenimiento reactivo, es aquel trabajo que involucra una cantidad determinada de tareas de reparación no programadas con el objetivo de restaurar la función de un activo una vez producido un paro imprevisto (parada forzada). Las causas que pueden originar un paro imprevisto se deben a desperfectos no detectados durante las inspecciones predictivas, a errores operacionales, a la ausencia tareas de mantenimiento (reparaciones), a sobre uso o utilización de los equipos fuera de las condiciones normales de operatividad del diseño, a problemas de fabricación de partes o piezas de equipos y, a requerimientos de producción que generan políticas como la de “repara cuando falle”, o “no pares que el equipo aguanta”.

Existen desventajas cuando dejamos trabajar una máquina hasta la condición de reparar cuando falle, ya que generalmente los costos por impacto total son mayores que si se hubiera inspeccionado y realizado las tareas de mantenimiento adecuadas que mitigaran o eliminaran las fallas, de acuerdo a lo establecido en las recomendaciones de mantenimiento

del fabricante y/o las mejores prácticas de mantenimiento preventivo y predictivo. (Sarzosa, 2008)

#### **D. Mantenimiento Predictivo**

El mantenimiento predictivo o basado en la condición evalúa el estado de la maquinaria y recomienda intervenir o no, lo cual produce grandes ahorros en mantenimiento.

El diagnóstico predictivo de maquinaria se desarrolla en la industria en la década que va desde mediados de los ochenta a mediados de los noventa del siglo XX.

Actualmente, las filosofías predictivas se aplican en la maquinaria crítica en aquellas plantas que cuentan con una gestión optimizada de sus activos. El mantenimiento basado en la condición optimiza al mantenimiento preventivo de manera que determina el momento preciso para cada intervención en los activos industriales.

El mantenimiento predictivo es un conjunto de técnicas instrumentadas de medida y análisis de variables para caracterizar en términos de fallos potenciales la condición operativa de los equipos productivos. Su misión principal es optimizar la fiabilidad y disponibilidad de equipos al mínimo costo.

Desde el punto de vista técnico, una actividad de mantenimiento será considerada como predictiva siempre que se den ciertos requisitos:

- La medida sea no intrusiva, es decir, que se realice con el equipo en condiciones normales de operación.
- El resultado de la medida pueda expresarse en unidades físicas, o también en índices adimensionales correlacionados.
- La variable medida ofrezca una buena repetibilidad.
- La variable predictiva pueda ser analizada y/o parametrizada para que represente algún modo) pico de fallo del equipo, es decir, ofrezca alguna capacidad de diagnóstico.



Desde el punto de vista organizativo, un sistema de gestión de mantenimiento será predictivo siempre que:

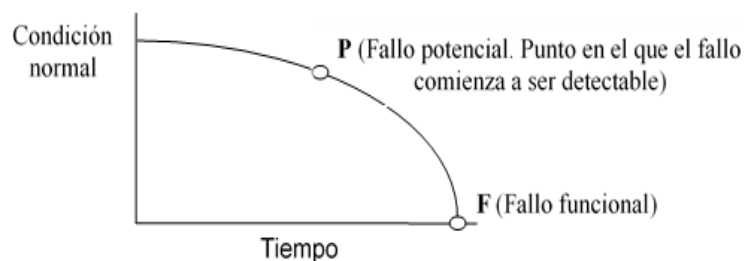
- La medida de las variables se realice de forma periódica en modo rutina.
- El sistema permita la coordinación entre el servicio de verificación predictiva y la planificación del mantenimiento.

El mantenimiento predictivo es un tipo de mantenimiento que relaciona una variable física con el desgaste o estado de una máquina. El mantenimiento predictivo se basa en la medición, seguimiento y monitoreo de parámetros y condiciones operativas de un equipo o instalación. A tal efecto, se definen y gestionan valores de pre-alarma y de actuación de todos aquellos parámetros que se considera necesario medir y gestionar.

La información más importante que arroja este tipo de seguimiento de los equipos es la tendencia de los valores, ya que es la que permitirá calcular o proveer, con cierto margen de error, cuando un equipo fallará; por ese motivo se denominan técnicas predictivas.

El mantenimiento predictivo nos ayuda a pronosticar el punto futuro de falla, de un componente o elemento de una máquina, tal y como se muestra en el gráfico N°07. (García ,2009)

**Gráfico N°07: Pronóstico de futura falla**



**Fuente: García (2009)**

Para hacer más objetivas las diferencias básicas entre las tres técnicas de mantenimiento, les muestro en el cuadro N° 02.

**Cuadro N°02: Diferencias básicas entre las tres técnicas de mantenimiento**

TIPO DE MANTTO.	ESTADO DEFUNCIONAMIENTO DE LA MAQUINA	MOTIVO DE LA INTERVENCION	TAREAS A REALIZAR	OBJETIVO DE LA INTERVENCION
Correctivo	Fuera de servicio	Falla	Cambio de componentes	Retornar al servicio
Preventivo	Fuera de servicio	Inspección programada	Desarmes para inspección y cambio de determinados componentes	Garantizar por determinado periodo su funcionamiento
Predictivo	En servicio	Control programado	Mediciones	Predecir y detectar fallas a tiempo y programar su corrección

**Fuente: Atmosferis (2012)**

### **E. Técnicas del mantenimiento predictivo**

El mantenimiento predictivo consta de una serie de ensayos de carácter no destructivo orientados a realizar un seguimiento del funcionamiento de los equipos para detectar signos de advertencia que indiquen que alguna de sus partes no está trabajando de la manera correcta.

A través de este tipo de mantenimiento, una vez detectadas las averías, se puede, de manera oportuna, programar las correspondientes reparaciones sin que se afecte el proceso de producción y prolongando con esto la vida útil de las máquinas. (Olarte y otros ,2010)

Pueden establecerse en dos categorías relacionadas con las tareas de mantenimiento predictivo: las técnicas sencillas, de fácil realización, y las técnicas que requieren de ciertos conocimientos y equipos sofisticados. Dentro de las primeras estarían las inspecciones visuales de los equipos, las

tomas de datos con instrumentación instalada de forma permanente como: termómetros, manómetros, etc. (García, 2009).

Dentro de las técnicas complejas existentes en el mercado se destacan las siguientes:

**Cuadro N°03: Técnicas De Mantenimiento Predictivo**

<p><b>Monitorización dinámica</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Análisis de vibraciones</li> <li>• Impulsos de choque</li> <li>• Ultrasonido</li> </ul> <p>Monitorización de partícula</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ferrografía</li> <li>• Detección de virutas metálicas</li> <li>• Fluorescencia de rayos x</li> </ul> <p>Monitorización de la corrosión</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Resistencia de polarización lineal</li> <li>• Resistencia eléctrica</li> <li>• Monitorización potencial</li> </ul>	<p><b>Monitorización de efectos físicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Penetración de colorante en líquido</li> <li>• Penetración de fluorescente electrostático</li> <li>• Inspección de partícula magnética</li> <li>• Película magnética apelable</li> <li>• Ecos de impulsos ultrasónicos</li> <li>• Detección de fugas</li> <li>• Rayos x</li> <li>• Baroscopios y sondas rígidas.</li> </ul>
---	--

**Fuente: García (2009)**

Los ensayos que más utilizan en las industrias son los siguientes:

**1. Análisis de Vibraciones:** Esta técnica de mantenimiento predictivo se basa en el estudio del funcionamiento de las máquinas rotativas a través del comportamiento de sus vibraciones.

Todas las máquinas presentan ciertos niveles de vibración aunque se encuentren operando correctamente, sin embargo cuando se presenta alguna anomalía, estos niveles normales de vibración se ven alterados indicando la necesidad de una revisión del equipo.

Para que este método tenga validez, es indispensable conocer ciertos datos de la máquina como lo son: su velocidad de giro, el tipo de cojinetes, de

correas, el número de alabes, palas, etc. También es muy importante determinar los puntos de las máquinas en donde se tomaran las mediciones y el equipo analizador más adecuado para la realización del estudio. (Renovetec, (s.f.)).

El Analizador de Vibraciones como se puede observar en la Figura N° 01, es un equipo especializado que muestra en su pantalla el espectro de la vibración y la medida de algunos de sus parámetros.

**Figura N° 01: Analizador de Vibraciones**



**Fuente: Renovetec (s.f.)**

Las vibraciones pueden analizarse midiendo su amplitud o descomponiéndolas de acuerdo a su frecuencia, así cuando la amplitud de la vibración sobrepasa los límites permisibles o cuando el espectro de vibración varía a través del tiempo, significa que algo malo está sucediendo y que el equipo debe ser revisado.

Los problemas que se pueden detectar por medio de esta técnica, son:

- Desalineamiento
- Desbalance
- Resonancia
- Solturas mecánicas
- Rodamientos dañados
- Problemas eléctricos asociados con motores

- Problemas de bandas. (Renovetec, (s.f.)).

**2. Termografía:** La Termografía es una técnica que estudia el comportamiento de la temperatura de las máquinas con el fin de determinar si se encuentran funcionando de manera correcta.

La energía que las máquinas emiten desde su superficie viaja en forma de ondas electromagnéticas a la velocidad de la luz; esta energía es directamente proporcional a su temperatura, lo cual implica que a mayor calor, mayor cantidad de energía emitida. Debido a que estas ondas poseen una longitud superior a la que puede captar el ojo humano, es necesario utilizar un instrumento que transforme esta energía en un espectro visible, para poder observar y analizar la distribución de esta energía. (Renovetec, (s.f.)).

En la Figura N° 02, se muestra el instrumento utilizado para generar una imagen de radiación infrarroja.

**Figura N° 02. Cámara Termográfica**



**Fuente: PCE (s.f.)**

Gracias a las imágenes térmicas que proporcionan las cámaras termográficas, se pueden analizar los cambios de temperatura. Un incremento de esta variable, por lo general representa un problema de tipo electromecánico en algún componente de la máquina.

Las áreas en que se utilizan las Cámaras Termográficas son las siguientes:

- Instalaciones Eléctricas
- Equipamientos Mecánicos
- Estructuras Refractarias. (Renovetec, (s.f.)).

**3. Análisis por Ultrasonido:** El análisis por ultrasonido está basado en el estudio de las ondas de sonido de alta frecuencia producidas por las máquinas cuando presentan algún tipo de problema.

El oído humano puede percibir el sonido cuando su frecuencia se encuentra entre 20 Hz y 20 kHz, por tal razón el sonido que se produce cuando alguno de los componentes de una máquina se encuentra afectado, no puede ser captado por el hombre porque su frecuencia es superior a los 20 kHz.

Las ondas de ultrasonido tienen la capacidad de atenuarse muy rápido debido a su corta longitud, esto facilita la detección de la fuente que las produce a pesar de que el ambiente sea muy ruidoso.

Los instrumentos encargados de convertir las ondas de ultrasonido en ondas audibles se llaman medidores de ultrasonido o detectores ultrasónicos. Por medio de estos instrumentos las señales ultrasónicas transformadas se pueden escuchar por medio de audífonos o se pueden observar en una pantalla como se muestra en la Figura N° 03. (Preditec, (s.f.))

**Figura N° 03. Medidor de Ultrasonido**



**Fuente: Preditec (s.f.).**

El análisis de ultrasonido permite (Preditec, (s.f.)):

- Detectar fricción en máquinas rotativas
- Detectar fallas y/o fugas en válvulas

- Detectar fugas en fluidos Detectar pérdidas vacío Detectar arco eléctrico
- Verificar la integridad de juntas de recintos estancos

**4. Análisis de Aceite:** El análisis de aceites determina el estado de operación de las máquinas a partir del estudio de las propiedades físicas y químicas de su aceite lubricante. (Fygueroa, 2010)

El aceite es muy importante en las máquinas porque sirve la protege del desgaste, controla su temperatura y elimina sus impurezas. Cuando el aceite presenta altos grados de contaminación y/o degradación, no cumple con estas funciones y la máquina comienza a fallar.

La técnica de análisis de aceites permite cuantificar el grado de contaminación y/o degradación del aceite por medio de una serie de pruebas que se llevan a cabo en laboratorios especializados sobre una muestra tomada de la máquina cuando está operando o cuando acaba de detenerse.

El grado de contaminación del aceite está relacionado con la presencia de partículas de desgaste y de sustancias extrañas, por tal razón es un buen indicador del estado en que se encuentra la máquina. El grado de degradación del aceite sirve para determinar su estado mismo porque representa la pérdida en la capacidad de lubricar producida por una alteración de sus propiedades y la de sus aditivos.

La contaminación en una muestra de aceite está determinada por medio de la cuantificación de (Fygueroa, 2010):

- Partículas metálicas de desgaste
- Combustible
- Agua

La degradación en una muestra de aceite está determinada por medio de la cuantificación las siguientes propiedades:

- Viscosidad
- Detergencia

- Basicidad
- Constante Dieléctrica

La información proveniente de las pruebas físicas y químicas del aceite permite decidir sobre el plan de lubricación y mantenimiento de la máquina.

**5. Análisis por algoritmos estadísticos:** Es una técnica deductiva que se centra en un suceso accidental particular (avería) y proporciona un método para determinar las causas que han producido dicha avería. El hecho de su gran utilización se basa en que puede proporcionar resultados tanto cualitativos mediante la búsqueda de caminos críticos, como cuantitativos, en términos de probabilidad de fallos de componentes.

Para el tratamiento del problema se utiliza un modelo gráfico que muestra las distintas combinaciones de averías de componentes y/o errores humanos.

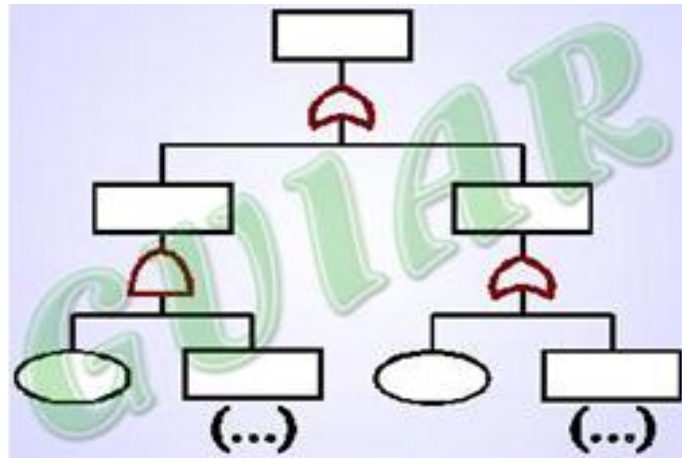
La técnica consiste en un proceso deductivo basado en las leyes del Álgebra de Boole, que permite determinar la expresión de sucesos complejos estudiados en función de los fallos básicos de los elementos que intervienen en él.

Consiste en descomponer sistemáticamente un suceso complejo (por ejemplo rotura de un depósito de almacenamiento de amoníaco) en sucesos intermedios hasta llegar a sucesos básicos, ligados normalmente a fallos de componentes, errores humanos, errores operativos... Este proceso se realiza enlazando dichos tipos de sucesos mediante lo que se denomina puertas lógicas que representan los operadores del álgebra de sucesos.

Cada uno de estos aspectos se representa gráficamente durante la elaboración de un árbol mediante diferentes símbolos que representan los tipos de sucesos, las puertas lógicas y las transferencias o desarrollos posteriores del árbol.(Eñaut y Gorka ,2009)



**Figura N°04: Árbol de averías.**



**Fuente: Eñaut y Gorka (2009)**

Los símbolos representan tanto sucesos, puertas lógicas y transferencias. Los más importantes son los siguientes:

**Figura N° 05: Símbolos representativos de los árboles de averías.**



**Fuente: Eñaut y Gorka (2009)**

**6. Análisis eléctrico:** El objeto del análisis eléctrico como técnica de mantenimiento predictivo es el de realizar estudios eléctricos sobre aquellos equipos que pueden presentar averías de origen electro-mecánico. (Eñaut y

Gorka ,2009)

En función de la corriente de alimentación, trifásica o continua, del equipo (generalmente motores eléctricos) que se desea analizar, se pueden verificar las siguientes condiciones:

- Calidad de la alimentación
- Estado del circuito
- Estado del aislamiento
- Estado del estator
- Estado del rotor
- Excentricidades en el entre-hierro

**Figura N° 06. Estudio de análisis eléctrico.**



**Fuente: Eñaut y Gorka (2009)**

El análisis de corriente de un motor eléctrico puede desempeñarse a modo de control de calidad, como herramienta de tendencia o como emisor de un diagnóstico inmediato del estado del mismo.

Generalmente, se aplica sobre los siguientes equipos eléctricos:

- Motores de Jaula de Ardilla
- Motor síncronos
- Motores de rotor bobinado

- Motores de corriente continua
- Alternadores
- Variadores de frecuencia. (Eñaut y Gorka ,2009)

#### **F. Sistema de mantenimiento predictivo. (Palomino,1997)**

Es aquel que contempla de modo eficaz tres etapas principales que son:

##### **➤ La detección**

Constituye el primer paso, y se basa en el seguimiento de la evaluación de uno y varios parámetros seleccionados adecuadamente, de acuerdo a su sensibilidad ante los cambios en la condición de la máquina analizada.

##### **➤ Identificación**

Una vez que el problema ha sido detectado, es menester proceder a la determinación de la causa de este es decir, identificar qué elemento o elementos de máquinas es el o son los causantes del incremento en los niveles de en estudio.

##### **➤ La corrección**

Por supuesto, conocer la causa del problema y por consiguiente la ubicación de este, permite organizar y ejecutar de modo eficiente los trabajos de eliminación del problema y de su propia causa.

#### **G. Requisitos básicos para la implementación del sistema.(Osorio, (s.f.))**

La experiencia ha demostrado, que el Sistema de Mantenimiento para su óptimo funcionamiento requiere ser implementado cumpliendo ciertos requisitos básicos; entendiéndose como básicos, que ellos son fundamentales para alcanzar un mínimo nivel de confiabilidad del sistema y que asegure un adecuado nivel de mantenimiento de la maquinaria.

El no cumplimiento de alguno de estos requisitos, motivará un análisis superficial y en oportunidad errónea, que tendrá como consecuencia un aumento de los costos, ya sea por efectuar reparaciones innecesarias o inadecuadas, como por estar expuesto a fallas progresivas del material, que en oportunidades tendrán consecuencias catastróficas.

Estos requisitos o requerimientos pueden ser definidos como sigue:

- a)** Estudio de la organización definiendo necesidades, capacidades y sistema de administración interna. En suma conocer la estructura interna en la cual se implementará el sistema.
- b)** Creación de la orgánica técnico-administrativa con la cual trabajará el sistema, definiendo las responsabilidades del personal de la organización. Lo anterior se considera prioritario, pues gracias a esta etapa se establecerán los requerimientos humanos y materiales.
- c)** Análisis de la maquinaria, definiendo técnicas de diagnóstico y forma de aplicación de ellas. En este sentido, es menester señalar que las técnicas a implementar serán analizadas para cada máquina en particular, ya que las características propias de ella determinarán la mejor forma en las que pueden ser analizadas.
- d)** Capacitación del personal acorde a sus funciones en el proceso de mantenimiento. Será necesario definir los perfiles profesionales de cada integrante de la organización, a fin de determinar la capacitación requerida por cada uno de ellos. Hincapié se debe hacer en señalar la necesidad de contar con personal idóneo en el análisis y diagnóstico de la maquinaria, debiéndose resaltar la gran importancia que posee la experiencia en su rendimiento profesional.
- e)** Adquisición de equipamiento que permita la óptima implementación del sistema. Especial cuidado se deberá tener en las capacidades de los equipos y en su adecuada compatibilidad con el equipamiento computacional existente en la organización.

#### **H. Plan de mantenimiento predictivo basado en la condición**

Programa o Plan de Mantenimiento: Se trata de la descripción detallada de las tareas de Mantenimiento Preventivo asociadas a un equipo o máquina, explicando las acciones, plazos y recambios a utilizar; en general, hablamos de tareas de limpieza, comprobación, ajuste, lubricación y sustitución de piezas.(Portal de mantenimiento, (s.f.))

A continuación detallo los pasos para realizar un plan de mantenimiento predictivo basado en la condición (PMBC). (Confiabilidad, (s.f.))

### **1. Identificar los activos a incluir en el programa**

Se trata de listar la maquinaria que será monitoreada, esta selección principalmente se basa en la criticidad de los equipos.

¿Qué tan importante son los activos para el proceso productivo?, ¿Cuál es su impacto a la seguridad y al ambiente en caso de fallas?, ¿Cuál es el costo de su mantenimiento?, ¿Cuáles equipos tienen fallas recurrentes o con mayor frecuencia?. Las respuestas a estas preguntas nos indican el estatus de criticidad de estos equipos y son la primera referencia para seleccionar los activos que integrarán el PMBC. Comenzar con los más críticos es una buena práctica y luego progresivamente incluir los de menor criticidad. Así el Análisis de Criticidad en el primer paso hacia el PMBC. En este primer paso se incluye la recolección de la data técnica y operacional de cada activo a monitorear. (Confiabilidad, (s.f.))

### **2. Determinar el modo y efecto de falla de los equipos seleccionados**

Se debe conocer cuáles son los mecanismos que pueden desencadenar en una falla y las consecuencias de esto. Esta información es importante a fin de seleccionar la tecnología y los procedimientos óptimos de inspección.

Esto requiere del conocimiento de la maquinaria desde el punto de vista mecánico, eléctrico y operacional. Saber cómo la máquina está conformada y como trabaja nos indica los modos en que puede fallar, así se definirá la mejor forma de captar los síntomas de estas fallas en su estado prematuro. Este proceso se conoce como Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF) (Confiabilidad, (s.f.))

### **Seleccionar la tecnología predictiva**

Existe un arsenal de tecnologías que permiten captar el lenguaje de la maquinaria, el cómo la máquina expresa su salud a través de diversos parámetros, es la clave para seleccionar la tecnología adecuada, aquella

capaz de captar condiciones anormales en estado prematuro, antes de que las fallas se hagan incontrolables.

Estas tecnologías especializadas miden y registran variables representativas de la salud de la maquinaria a un nivel tal que permita hacer seguimiento a la evolución de los diversos problemas detectados y activen el potencial de la planificación y programación del mantenimiento. (Confiabilidad, (s.f.))

### **Crear la base de datos de maquinaria y parámetros de inspección**

¿Qué medir y contra qué compararlo?, cada aplicación predictiva cuenta con diferentes parámetros de inspección especialmente definidos y configurados para registrar condiciones particulares que identifiquen un modo de falla característico.

Se trata de la configuración de la inspección al detalle, definir aquellas variables que mejor representen la condición del activo, así al seleccionar el Análisis de Vibraciones como tecnología predictiva, debemos entonces adecuar la medición a las características de velocidad, de carga y de los componentes del activo monitoreado. ¿Cuál es el rango de frecuencia adecuado para detectar una falla de rodamientos?, ¿cuál es el nivel de ruido ultrasónico ante una lubricación deficiente?, ¿cuál es el mejor punto de muestreo?, ¿cuáles son los niveles estándares de aceptación para la amplitud de la vibración de un compresor centrífugo y cual para uno de tornillo?, ¿cuál es el mejor intervalo de muestreo? En este punto además se deben definir todo el resto de parámetros subjetivos útiles para detectar condiciones anormales. (Confiabilidad, (s.f.))

### **Establecimiento de periodicidad del mantenimiento**

Para los profesionales de mantenimiento resulta relativamente fácil encontrar las estrategias a seguir en cuanto a la escogencia del tipo de mantenimiento adecuado para cada modo de falla, sin embargo, a la hora de calcular la frecuencia de inspección del mantenimiento predictivo, la literatura ofrece una manera que se basa en la curva P-F, donde el tiempo entre inspecciones para algunos, debe ser la mitad del tiempo entre la falla potencial y la falla funcional (intervalo P-F) y para otros, el tiempo entre inspecciones debe ser menor que

el intervalo P-F asegurando que la diferencia entre ambos sea mayor al tiempo de reparación.

Esta forma de calcular la frecuencia de inspección predictiva tiene los siguientes inconvenientes:

1. No se posee suficiente data para construir una curva para cada modo de falla
2. La curva varía si es afectada por factores externos tales como variaciones en el contexto operativo, fallas operacionales y deficiencias relacionadas con ingeniería y mantenimiento

En la mayoría de los casos, la frecuencia se calcula con la ayuda de una curva P-F general solo para algunos componentes principales del equipo a ser inspeccionado, o utilizando criterios gerenciales no formales, basados en el costo de las inspecciones versus el costo de no poder predecir la falla.

Debido a lo anteriormente expuesto y como una forma para calcular de manera formal la frecuencia de las inspecciones predictivas, tomando en cuenta la relación riesgo - costo – beneficio, y justificando así, las decisiones del gerente del área de mantenimiento, en lo concerniente al impacto de las estrategias a ser tomadas en el presupuesto de gastos de fábrica, se desarrolla a continuación un modelo matemático que pretende dar una idea cercana del valor del tiempo entre inspecciones predictivas.

El valor del intervalo entre inspecciones predictivas será directamente proporcional a tres factores:

El factor de costo, el factor de falla y el factor de ajuste. Así, la relación matemática estará definida como:  $I = C \times F \times A$ .

Dónde: C es el factor de costo, F es el factor de falla y A es el factor de ajuste

#### ➤ **Factor de Costo**

Es el costo de una inspección predictiva dividido entre el costo en que se incurre por no detectar la falla. En general, este costo es igual al tiempo que tarda llevar el repuesto desde el almacén (externo o propio) en condición de

parada no planificada hasta el lugar donde ocurre la falla, multiplicado por la cantidad de dinero que se pierde por unidad de tiempo de parada del equipo que la presenta. Otros costos asociados a no poder predecir la falla tienen que ver con el impacto de esta en la calidad de los productos, la seguridad industrial y el cuidado del ambiente. Para los casos donde la seguridad industrial y el ambiente se puedan ver perjudicados se recomienda el monitoreo continuo de la condición del equipo ya que los costos de una lesión o del impacto ambiental son inestimables, o en el mejor de los casos, su valor tiende a ser tan alto que el intervalo de inspección tiende a 0.

La relación del factor de costo es la siguiente:  $C = C_i / C_f$ . Donde

$C_i$  es el costo de una inspección predictiva (en unidades monetarias)

$C_f$  es el costo en que se incurre por no detectar la falla (en unidades monetarias)

Nótese que el factor de costo es un numero adimensional.

#### ➤ **Factor de Falla**

Es la cantidad de fallas que pueden detectarse con la inspección predictiva dividida entre la rata de fallas.

Relación del factor de falla es:  $F = F_i / \lambda$ . Donde

$F_i$  es la cantidad de modos de falla que pueden ser detectados utilizando la tecnología predictiva (expresada en fallas por inspección) y  $\lambda$  es la rata de fallas presentada por el equipo, y que además, podrían ser detectadas por la tecnología predictiva a ser aplicada (expresada en fallas por año). La unidad del factor de falla es años por inspección.

#### ➤ **Factor de Ajuste**

Es la probabilidad de ocurrencia de más de 0 fallas en un año utilizando la distribución acumulativa de Poisson con media igual a  $\lambda$  (rata de fallas expresada como fallas por año). Para calcular este factor se utiliza el logaritmo natural multiplicada por  $-1$  ( $-\ln$ ), la cual, se comporta de una manera muy parecida al criterio gerencial de incremento o decremento del intervalo de



inspección al tomar en cuenta la probabilidad de ocurrencia de mas de 0 fallas en un año.

Para valores de probabilidad de ocurrencia entre 0 y valores cercanos a 0.37, la función arroja resultados desde infinito hasta 1 y para valores de probabilidad entre 0.37 y 1 la función arroja resultados entre 1 y 0. Por lo que a mayor probabilidad de ocurrencia, el intervalo de inspección predictiva se reducirá de forma exponencial.

La probabilidad de ocurrencia de más de cero fallas es:  $1 - P(0, \lambda) = 1 - e^{-\lambda}$

Donde  $P(0, \lambda)$  es la función de distribución acumulativa de Poisson para un valor de ocurrencia 0 y media  $\lambda$

Factor de ajuste:  $A = -\ln(1 - e^{-\lambda})$

El factor de ajuste es un numero adimensional.

Intervalo de inspecciones predictivas

$$I = -\frac{C_i * F_i}{C_f * \lambda} * \ln(1 - e^{-\lambda})$$

Expresado en años por inspección. Siendo el inverso de esta relación igual a la frecuencia de inspección ( $f$ ), la misma estará expresada en inspecciones por año.

Este modelo es recomendable para valores de  $\lambda$  menores que 1, ya que para valores mayores que la unidad, la frecuencia de inspección se puede incrementar en tal dimensión, que los costos de inspección por año pueden ser superiores al costo de no poder detectar la falla. Para valores de frecuencia superiores a 52 inspecciones por año y para valores de costos anuales de inspección superiores al 10 % del costo total de la no posibilidad de detección de falla, se recomienda estudiar la instalación de dispositivos de monitoreo continuo para tener una información en tiempo real referente a los parámetros seleccionados para establecer el mantenimiento por condición y/o hacer análisis de causa raíz, destinados a disminuir la rata de fallas a valores inferiores a 1 falla por año, mediante el rediseño de los equipos, de las políticas o de los procedimientos de operación, ingeniería y mantenimiento.

Como ejemplo se calcula el valor del intervalo de inspecciones predictivas para un grupo rotativo motor-bomba de acople directo con rata de falla de 1 vez cada 3 años, costo de inspección de tecnología predictiva de análisis de vibraciones de US\$ 20 y costo de no posibilidad de detectar la falla de US\$ 20,000.

Si la cantidad de fallas que se pueden detectar en el grupo rotativo de acople directo utilizando análisis de vibraciones es igual a 20, el resultado será:

$$C = C_i / C_f = \text{US\$ } 20 / \text{US\$ } 20,000 = 0.0010$$

$$F = F_i / \lambda = 20 \text{ fallas por inspección} / 0.3333 \text{ fallas por año} = 60.0060 \text{ años} / \text{inspección}$$

$$A = A = -\ln [1 - \text{EXP} (-\lambda)] = A = -\ln [1 - \text{EXP} (-0.33)] = 1.2691$$

$$I = C \times F \times A = 0.0010 \times 60.0060 \text{ años} / \text{inspección} \times (1.2691) = 0.0762 \text{ años} / \text{inspección}$$

Si se desea calcular la frecuencia de inspección (f), se calcula el inverso del intervalo de inspección:  $f = 1 / 0.0762 = 13.1311$  veces/año, lo que se aproxima a 1 inspección por mes.

El costo anual de aplicación de la tecnología predictiva será igual a 20 US\$ multiplicado por la frecuencia de inspección, lo cual da como resultado 240 US\$ por año. Este monto es el 1.2 % del costo de no poder predecir la falla.

### **3. Definir indicadores de gestión.**(Confiabilidad, (s.f.))

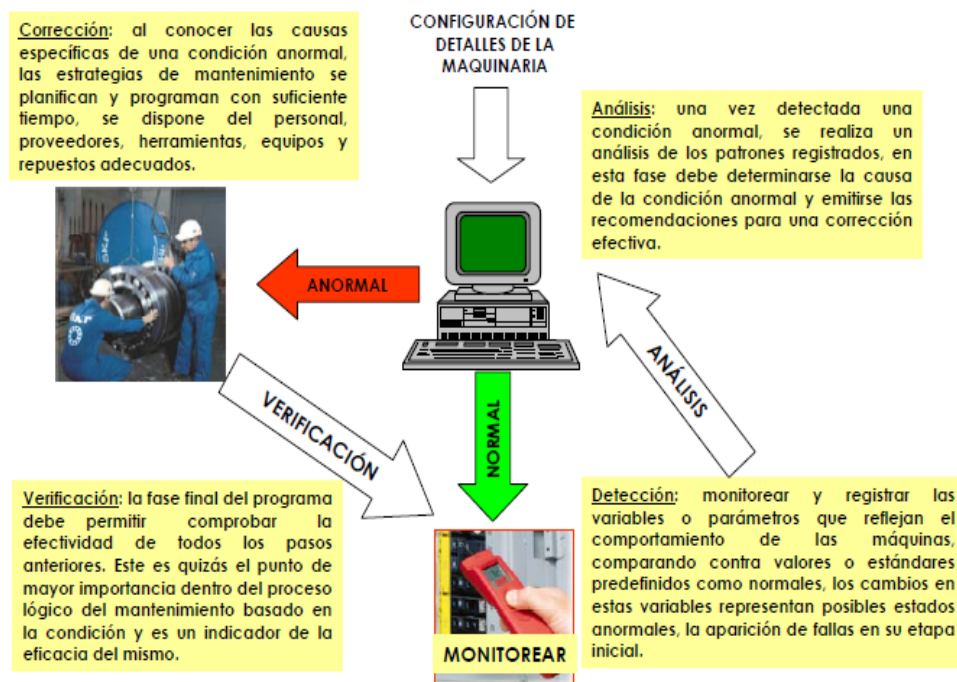
Un paso muy importante del PMBC es reportar los éxitos, el proceso de comunicación es un factor determinante en la efectividad y credibilidad del sistema. Es necesario hacer seguimiento a los aspectos que reflejen un impacto positivo sobre la gestión del mantenimiento, la confiabilidad y seguridad del complejo industrial. Se cuenta con una serie de indicadores de gestión que representan todo el esfuerzo del equipo de Mantenimiento Predictivo en beneficios corporativos.

No permita que su PMBC falle por debilidades en la cadena del proceso predictivo

- Es necesario integrar el PMBC con las áreas de planificación y programación del mantenimiento a fin de generar ordenes de trabajo basadas en inspección.
- La tecnología predictiva debe ser capaz de captar los modos de fallas de los activos inspeccionados, así mismo
- Los parámetros y estándares de monitoreo deben adaptarse a las condiciones particulares de cada activo.
- El personal encargado del proceso predictivo debe estar plenamente identificado con el objetivo del PMBC dentro de la estrategia de mantenimiento de la organización.

A continuación muestro en la figura N° 07, Un flujo grama del proceso predictivo:

**Figura N°07: Flujograma del proceso predictivo**



**Fuente: Confiabilidad (s.f.)**

A continuación desarrollare de manera más detallada las herramientas y técnicas a utilizar en el desarrollo del Plan de mantenimiento predictivo:

## **I. Parámetros para el control del estado.** (Cruz, 2011)

Los parámetros utilizados para el control de estado de los equipos son aquellas magnitudes físicas susceptibles de experimentar algún tipo de modificación repetitiva en su valor, cuando varía el estado funcional de la máquina.

Existen muchos parámetros que se pueden utilizar con este fin, siempre que se cumplan las condiciones expresadas:

- Que sea sensible a un defecto concreto
- Que se modifica como consecuencia de la aparición de alguna anomalía
- Que se repite siempre de la misma forma

Así las distintas técnicas utilizadas para el mantenimiento preventivo se pueden clasificar en dos grupos básicos:

Técnicas directas, en las que se inspeccionan directamente los elementos sujetos a fallo: entre ellas cabe mencionar la inspección visual (la más usada), inspección por líquidos penetrantes, por partículas magnéticas, el empleo de ultrasonidos, análisis de materiales, la inspección radiográfica, etc.

Técnicas indirectas, mediante la medida y análisis de algún parámetro con significación funcional relevante. Entre ellos el más usado es el análisis de vibraciones, aunque también existen numerosos parámetros que cada vez son más utilizados conjuntamente con el análisis de vibraciones, como puede ser el análisis de lubricantes, de ruidos, de impulsos de choque, medida de presión, de temperatura, etc.

En las tablas siguientes se resumen las técnicas y parámetros utilizados actualmente para el control de estados para distintos tipos de equipos:

**Figura N°08: Equipos dinámicos**

PARÁMETRO INDICADOR	TÉCNICAS
•Inspección visual	•Uso de endoscopios, mirillas, videos
•Vibraciones	•Análisis espectral y de tendencias
•Presión, caudal, temperatura	•Seguimiento de evolución
•Ruido	•Análisis del espectro
•Degradación y contaminación de lubricantes	•Análisis físico-químicos, ferrografía
•Estado de rodamientos	•Impulsos de choque
•Estado de alineación	•Laser de monitorización
•Control de esfuerzos, par y potencia	•Extensometría, torsiómetros
•Velocidades críticas	•Amortiguación dinámica

**Fuente: Cruz (2011)**

**Figura N°09: Equipos estáticos**

PARÁMETRO INDICADOR	TÉCNICAS
•Observación Visual	•Testigos, Endoscopios
•Corrosión	•Testigos, Rayos X, Ultrasonidos
•Fisuración	•Líquidos Penetrantes, Partículas Magnéticas, Rayos X, Ultrasonidos, Corrientes Parásitas.
•Estado de Carga	•Entensometría, Células De Carga
•Desgaste	•Ultrasonidos, Corrientes Inducidas, Flujo magnético
•Fugas	•Ultrasonidos, Ruidos, Control Atmósfera por medida de gases

**Fuente: Cruz (2011)**

**Figura N°10: Equipos eléctricos**

PARÁMETRO INDICADOR	TÉCNICAS
•Equilibrio de fases	•Medidas de tensión e intensidad
•Consumos anómalos	•Medidas de intensidad y potencia
•Estado de devanados, excentricidad, desequilibrio	•Espectros de corriente y vibración
•Severidad de servicio	•Control y recuento de arranques y maniobras
•Resistencia de aislamiento	•Medida de resistencias, índice de polarización
•Contaminación de devanados	•Corriente de absorción y fuga
•Temperatura de devanados	•Medidas de temperatura, termografías
•Estado de escobillas	•Termografías, análisis estroboscópico
•Fallos de aislamiento	•Factor de pérdidas dieléctricas, análisis de descargas parciales

**Fuente: Cruz (2011)**

**Figura N°11: Equipos electrónicos**

PARÁMETRO INDICADOR	TÉCNICAS
•Función o respuesta	•Medidas eléctricas, simulación, sistemas expertos
•Calentamiento	•Avisos sonoros, termografía

**Fuente: Cruz (2009)**

#### **J. Establecimiento de un sistema de mantenimiento predictivo.**

El fundamento del mantenimiento predictivo es la medida y valoración periódica de una serie de variables de estado (parámetros de control) lo que implica el manejo de una ingente cantidad de datos que requieren medios:

- Físicos (hardware)
- De gestión (software)
- Humanos

Los medios físicos son los instrumentos de medida y los de captura y registro de datos. Los programas de gestión informáticos manejan los datos captados elaborando informes y gráficos de evolución. Finalmente los medios humanos incluyen el personal que hace las medidas rutinarias, que deben ser profesionales cualificados y con conocimientos específicos del tipo de equipos a tratar y, además, el personal técnico altamente cualificado capaz de desarrollar análisis y diagnóstico de averías. (Cruz, 2011).

La implantación requiere unos pasos sucesivos:

##### **1. Preparación inicial**

La preparación inicial supone desarrollar las siguientes tareas:

- Definición de las máquinas
- Identificación, estudio, de sus características y calificación de su importancia en el proceso productivo.
- Determinar los parámetros y técnicas de medidas

Para cada máquina crítica en particular y para cada familia de máquinas genéricas se determinan los parámetros y técnicas más adecuados a utilizar para llevar a cabo el control:

- Estructurar la base de datos
- Para cada máquina se decide y cargan los siguientes datos:
- Frecuencia de chequeo o medida
- Alcance de las medidas de cada parámetro
- Definición de rutas
- Definición de alarmas, para cada parámetro
- Formación del personal. (Cruz, 2011)

## **2. Implantación propiamente dicha**

Supone, una vez realizada toda la preparación, llevar a cabo las medidas periódicas acordadas, con las rutas y frecuencias previstas, lo que implica:

- Chequeos y medidas periódicas
- Registro y volcado de datos en el sistema
- Valoración de niveles que indican un comportamiento anómalo
- Análisis y diagnóstico de anomalías. (Cruz, 2011)

## **3. Revisión de resultados**

Una vez implantado todo el sistema se debería llevar a cabo periódicamente (al menos anualmente) un análisis crítico de resultados:

- Historial de medidas rutinarias y averías.
- Análisis de resultados y dispersión de datos.
- Cambio de parámetros o niveles de alarma así como de las frecuencias de chequeo, si es necesario. (Cruz, 2011)

### **2.3 Marco conceptual**

- **CONFIABILIDAD:** Es la probabilidad en que un producto realizará su

función prevista sin incidentes por un período de tiempo especificado y bajo condiciones indicadas.

- **CONTEXTO OPERACIONAL:** Conjunto de circunstancias en las que se espera que opere un activo o sistema.
- **DESGASTE:** Es la pérdida de partículas metálicas de la superficie de una pieza por acción directa o por combinación de una serie de factores.
- **DIAGRAMA DE CAUSA – EFECTO:** controla y mejora la calidad implica conocer las causas que le afectan para potenciarlas si la mejoran y eliminarlas o reducirlas si la empeoran.
- **DISPONIBILIDAD:** Capacidad de un ítem para desarrollar su función en un determinado momento, o durante un determinado período de tiempo, en unas condiciones y con un rendimiento definidos. La disponibilidad operacional puede determinarse a partir del tiempo de carga menos el tiempo de paradas dividido entre el tiempo de carga.
- **EFICIENCIA:** Es el logro satisfactorio de resultados obtenido a través del máximo rendimiento y la mejor utilización de los recursos.
- **FALLA FUNCIONAL:** Estado en el cual el activo físico o sistema es incapaz de cumplir, a un nivel de funcionamiento que sea aceptable para su propietario o usuario, con una función específica.
- **FRICCIÓN:** fuerza que resiste al movimiento relativo entre los cuerpos sólidos, cuyas superficies están limpias y secas.
- **GESTIÓN DE MANTENIMIENTO:** Actuaciones con las que la dirección de una organización de Mantenimiento sigue una política determinada.
- **MANTENABILIDAD:** Facilidad de un ítem en ser mantenido o recolocado en condiciones de ejecutar sus funciones requeridas.
- **MANTENIMIENTO CORRECTIVO:** Es el mantenimiento que se ejecuta a un activo después de ocurrida la falla del mismo, por lo que se debe de corregir todos los componentes fallidos en el evento.
- **MANTENIMIENTO PREDICTIVO:** Es aquel mantenimiento nos permitirá



hacer una predicción del activo en cuestión, por medio de las técnicas cuales quiera utilizar llámese (análisis de vibraciones, mediciones eléctricas voltaje, amperaje, resistencia, ultrasonidos, medición de espesores, termografías, etc) y que puedan ser aplicadas.

➤ **MANTENIMIENTO PREVENTIVO:** Es el mantenimiento que se realiza en base a fechas calendarlas en que se programa un activo para su mantenimiento, claro las fechas se determinan de tal manera que según las condiciones de operación permitan que el equipo no alcance el deterioro tal que falle; y de esta manera prevenir antes de que se presente la falle.

➤ **MANTENIMIENTO:** Conjunto de acciones que permiten mantener o establecer un bien en un estado específico o en la medida de asegurar un servicio determinado.

➤ **MAQUINARIA:** conjunto de máquinas que realizan trabajos para una misión o fin.

➤ **MODO DE FALLA:** Un evento singular que causa una falla funcional.

➤ **MTBF:** Es el tiempo medio entre fallas.

➤ **MTTF:** Es el tiempo medio que transcurre para que se produzca una falla funcional.

➤ **TBF:** Es el tiempo que transcurre entre dos fallas consecutivas.

➤ **TOP:** Tiempo de operación.

➤ **TTF:** Es el tiempo que transcurre para que ocurra una falla funcional.

## **CAPÍTULO 3: DIAGNÓSTICO DE LA REALIDAD ACTUAL**

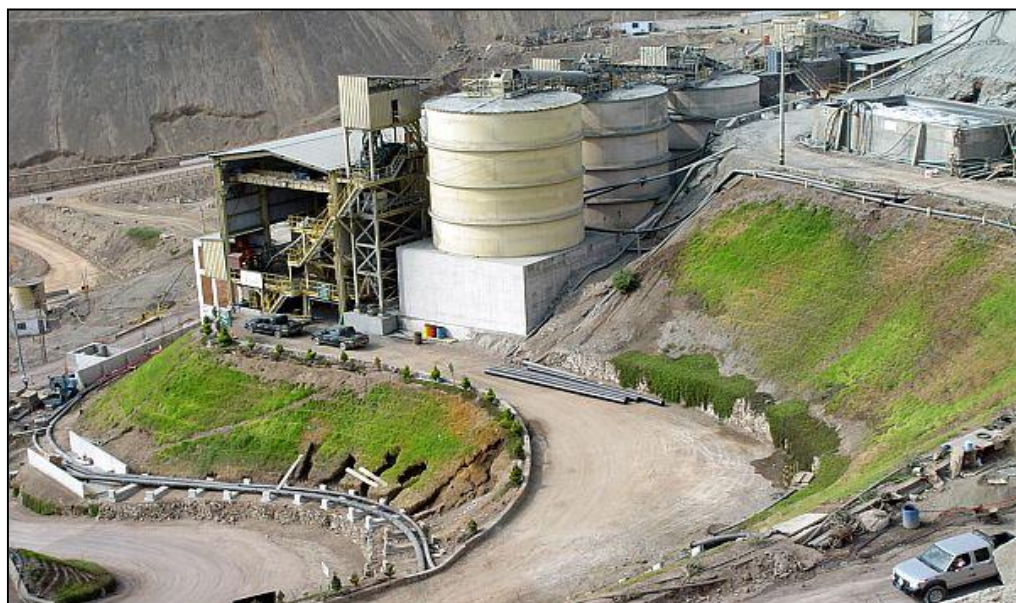
## **3.2 Descripción general de la empresa.**

### **3.1.1 Compañía Minera**

Compañía Minera Condestable S.A.A, es una empresa que actualmente pertenece a la corporación de Southern Peaks Mining LP, quienes en este año concretaron la compra. Cia Minera Condestable SAA fue fundada en el 01/07/1964, su centro de operaciones se encuentra ubicado en paraje de Bujama Alta, Distrito de Mala, Provincia de Cañete y Departamento de Lima, a 90 Km. al Sur de la ciudad de Lima y a una altitud promedio de 250 msnm, asimismo en la actualidad cuenta con 1079 trabajadores.

Su principal actividad de está enfocada en la extracción de Concentrado de Cobre (Sulfuros Primarios de Cobre), durante los 3 últimos años su capacidad de extracción se ha ido incrementando de manera paulatina debido a la ampliación de las áreas de molienda, flotación y abastecimiento de agua, en el 2013 se extrajeron 6300TMSD y en el 2014 y 2015 se logró producir 7000TMSD.

**Figura N° 12: Planta de la empresa**

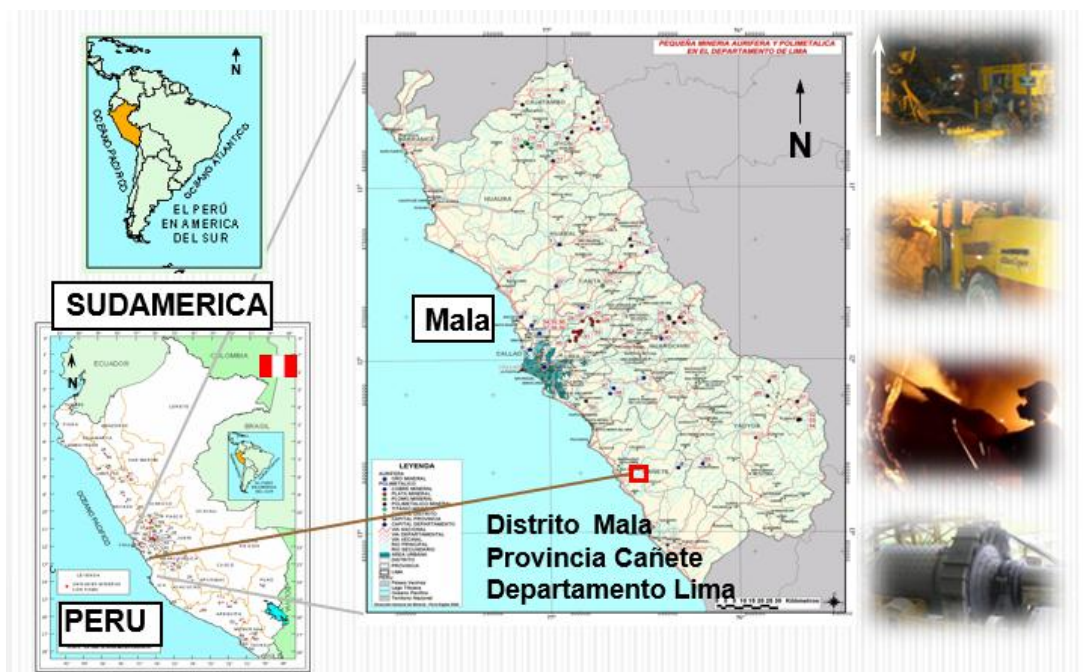


**Fuente: C.M.C. S.A.A.**

### 3.1.2 Datos

- RUC: 20100056802
- Razón Social: Compañía Minera Condestable S.A.
- Tipo Empresa: Sociedad Anónima
- Tipo de Actividad: Compañía Minera Condestable tiene como actividad principal; el rubro de Minero-metalúrgicas. De exploración, explotación, beneficio y transporte de minerales de cobre.
- Dirección Legal: Bujama alta nro. S/n asiento min. Bujama (km 90 antigua panamericana sur) Lima cañete mala

**Figura N° 13: Ubicación del Yacimiento Condestable**



**Fuente: C.M.C. S.A.A.**

### 3.1.3 Misión, visión y valores

#### 3.1.3.1 Misión

“Seremos una empresa de excelencia en la minería mundial en el largo plazo, para beneficio de nuestros accionistas, directivos, personal y clientes, respetando de manera

responsable el medio ambiente de la comunidad donde trabajamos”

### **3.1.3.2 Visión**

“Aprovecharemos nuestra capacidad operativa para continuar entregando una producción rentable, sostenible y responsable tanto a nivel nacional, como internacional. Invertiremos para desarrollar nuevos proyectos de trabajo en la región”

### **3.1.3.3 Valores**

➤ **Respeto a nuestro medio ambiente:**

El respeto por nuestro entorno a través del desarrollo de prácticas de exploración, explotación y tratamiento de minerales de manera segura.

➤ **Respeto por nuestros trabajadores:**

Tenemos por principio, no transgredir los derechos y dignidad de los trabajadores, brindando las mejores condiciones de trabajo.

➤ **Trabajo en equipo:**

Capacidad de aceptar al otro a pesar de las diferencias sin discriminación alguna, trabajando con energía y entusiasmo en todo lo que se desarrolla.

### **3.1.4 Principales clientes**

La compañía minera Condestable S.A.A. tiene un único cliente principal al cual el venden su producto final el cual es el concentrado de cobre. Este cliente es Cormin, el cual es la mayor comercializadora de minerales del Perú.

Cormin se dedica a adquirir concentrados de minerales a diversas empresas mineras para exportarlos y venderlos a diferentes refinerías alrededor del mundo. Cormin es una subsidiaria de trafilatura, el segundo mayor trader de minerales en el mundo.

### 3.1.5 Proveedores

A continuación en el cuadro N° 04, se muestra el diagrama PEPSU de la Compañía Minera Condestable S.A.A., con la finalidad de detallar los proveedores, entradas, procesos, salidas y clientes que son necesarios para la obtención del concentrado de cobre que posteriormente es comercializado.

**Cuadro N° 04: Diagrama PEPSU de la Compañía Minera**

PROVEEDORES	ENTRADAS	PROCESO	SALIDAS	CLIENTES
SOURCE	INPUT	PROCESS	OUTPUT	CLIENT
PROVEEDORES DE EQUIPOS PARA MINA	MANO DE OBRA	ABASTECIMIENTO DE MATERIAL	CONCENTRADO DE COBRE	CORMIN :ES UNA SUBSIDIARIA DE TRAFIGURA, EL SEGUNDO MAYOR TRADER DE MINERALES EN EL MUNDO
		CHANCADO		
EMPRESAS CONTRATISTAS DE TRASNPOTES		MOLIENDA		
		FLOTACIÓN		
PROVEEDORES DE REPUESTOS	CAMIONES CARGADOS CON TONELADAS DE MATERIAL PARA PROCESAR	ESPESAMIENTO Y FILTRADO	RESIDUOS PRODUCTO DEL PROCESAMIENTO DE MINERAL	
EMPRESAS DE MANTENIMIENTO		ALMACENAMIENTO Y DESPACHO		

**Fuente: Elaboración propia**

### **3.1.6 Competidores**

- SOCIEDAD MINERA CERRO VERDE S.A.A.
- SOUTHERN PERU COPPER CORPORATION SUCURSA L DEL PERU
- COMPANIA MINERA ANTAMINA S.A
- MINERA CHINALCO PERÚ S.A.
- MINERA BARRICK MISQUICHILCA SA
- MINERA YANACocha S.R.L.
- COMPANIA MINERA ARES S.A.C.
- ANGLO AMERICAN QUELLAVECO S.A.
- MINERA GOLD FIELDS PERU S.A.
- VOLCAN COMPANIA MINERA S.A.A.

### **3.1.7 Principales productos**

Compañía Minera Condestable tiene como producto principal los minerales de cobre el cual llega a obtenerlo en su proceso final como concentrado de cobre.

### **3.1.8 Maquinarias y equipos**

El área de producción el cual se encarga de procesar el mineral desde que llegan los camiones con las toneladas de mineral a procesar para que posteriormente pasen por otros subprocesos de chancado, molienda, flotación, espesamiento y por último el almacenamiento.

Para que la compañía minera lleve a cabo estos subprocesos del procesamiento de mineral hace uso de un total de 182 equipos, los cuales muestro a continuación en el siguiente cuadro:

**Cuadro N° 05: Numero de equipos totales**

<b>EQUIPOS DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN</b>	<b>N° EQUIPOS</b>
Chancado Primario	6
Chancado Primario Standby	5
Chancado Secundario	7
Chancado terciario	5
Chancado cuaternario	37
Molienda	33
Flotación	28
Espesamiento y filtrado de concentrados	21
Espesamiento de Relaves	21
Preparación de Floculante	1
Abastecimiento de Agua	14
Otros	4
<b>Total</b>	<b>182</b>

**Fuente: Elaboración propia**



### 3.1.9 Mapa de procesos

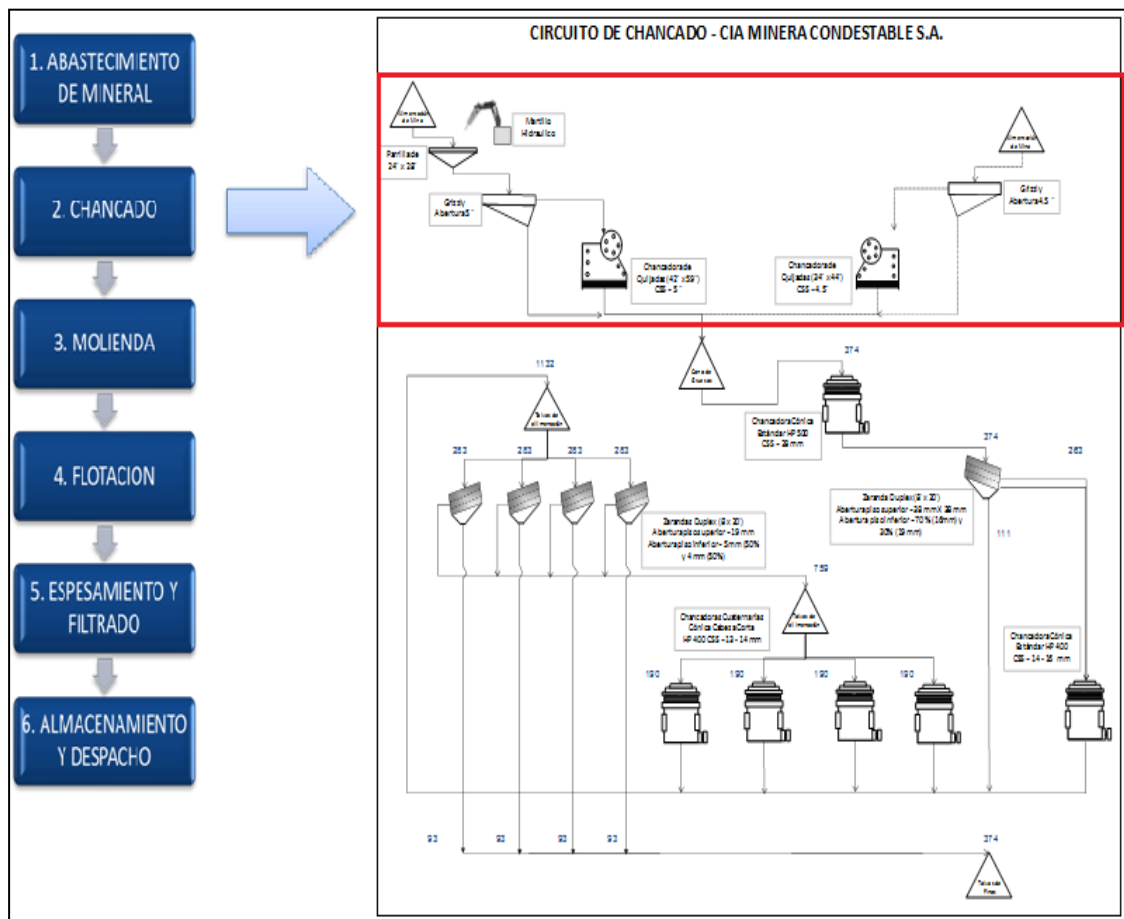
Figura N° 14: Mapa de procesos generales de la Compañía Minera Condestable S.A.A.



Fuente: C.M.C. S.A.A

### 3.1.10 Diagrama de flujo del procesamiento de mineral

Gráfico N° 08: Diagrama de flujo del procesamiento de mineral



Fuente: C.M.C. S.A.A.

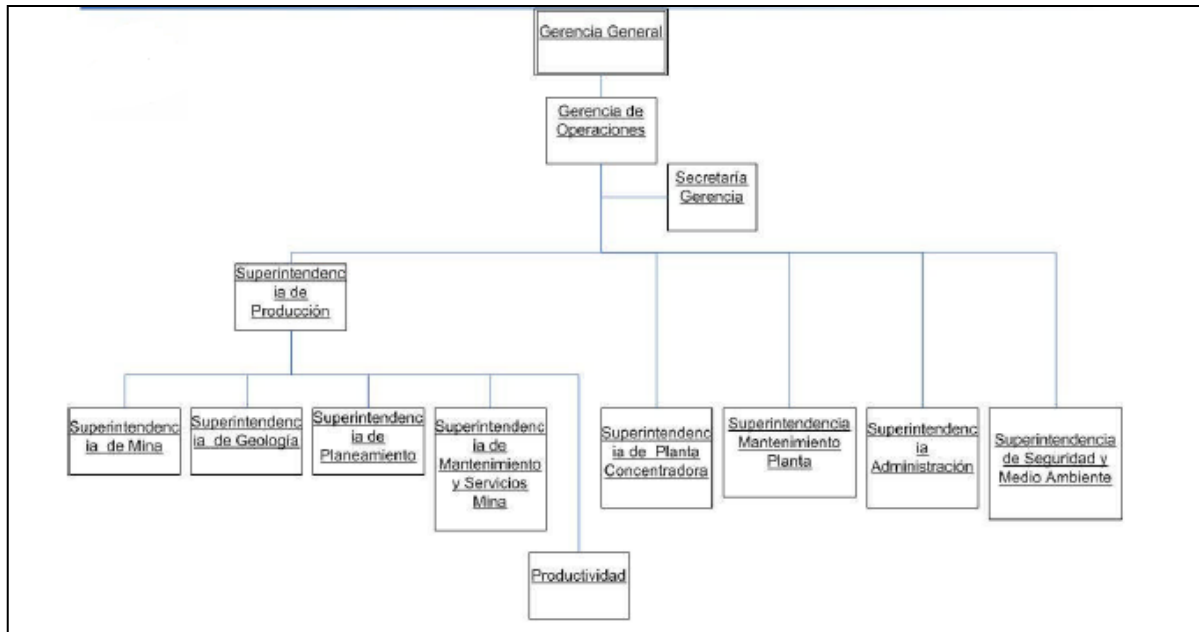
### 3.1.11 Proceso productivo

- **ABASTECIMIENTO DE MINERAL:** El mineral extraído de la mina es recibido en una cancha o patio, acondicionados para la clasificación del mineral, que luego pasara al proceso de chancado y los bloques de mineral demasiados grandes, previamente serán tratados para reducir sus dimensiones para pasar a la chancadora primaria. En este proceso se utilizan perforadoras, cargadores y otros equipos necesarios con sus respectivos operadores.
- **CHANCADO:** Etapa inicial de la reducción de tamaño del mineral

- **MOLIENDA:** En este proceso el mineral chancado mezclado con agua es procesado en recipientes cilíndricos denominados molinos de bolas y/o barras; convertido en polvo, pasa a la clasificadora, en donde la mezcla que tiene consistencia muy fina también denominada finos, ingresan a las celdas de flotación, a su vez los gruesos retornan al molino para ser nuevamente molidos.
- **FLOTACION:** El mineral molido, mezclado con agua, cal y reactivos, mediante un sistema de bombeo por tubos, pasa de la clasificadora a las celdas de flotación. En estas celdas un agitador de paletas revuelve la pulpa, a la vez que una corriente de aire que sale de la parte inferior de la celda, forma una especie de burbujas que sale a la superficie llevando consigo partículas de sulfuros de mineral, formando una espuma o nata que rebasa las celdas de flotación, la que es recogida para ser espesada o sedimentada y filtrada para obtener el concentrado final. Cuando se procesan dos o más tipos de concentrados, el proceso de flotación pasa por tantos procesos como tipos de concentrados se deseen obtener.
- **ESPEZAMIENTO, FILTRADO, SECADO Y MANIPULEO DE CONCENTRADOS:** La “nata” resultante del proceso de flotación es recogida a través de canaletas y conducida mediante agua a los tanques espesadores, de donde se traslada al proceso de filtrado y secado.
- **ALMACENAMIENTO Y DESPACHO:** Se procede a almacenar el concentrado para luego ser despachado.

### 3.1.12 Organigrama de la empresa

**Gráfico N° 09: Organigrama funcional de la empresa**



**Fuente: Elaboración propia**

### 3.2 Descripción particular del área de la empresa objeto de análisis.

El área de trabajo en la que realizaremos la mejora en los procesos de mantenimiento que se dan a los equipos que forman parte del procesamiento del mineral y que esta conformado por las chancadoras, molinos, etc. En total la empresa cuenta con 182 equipos.

**Figura N° 15: Proceso de Mantenimiento**

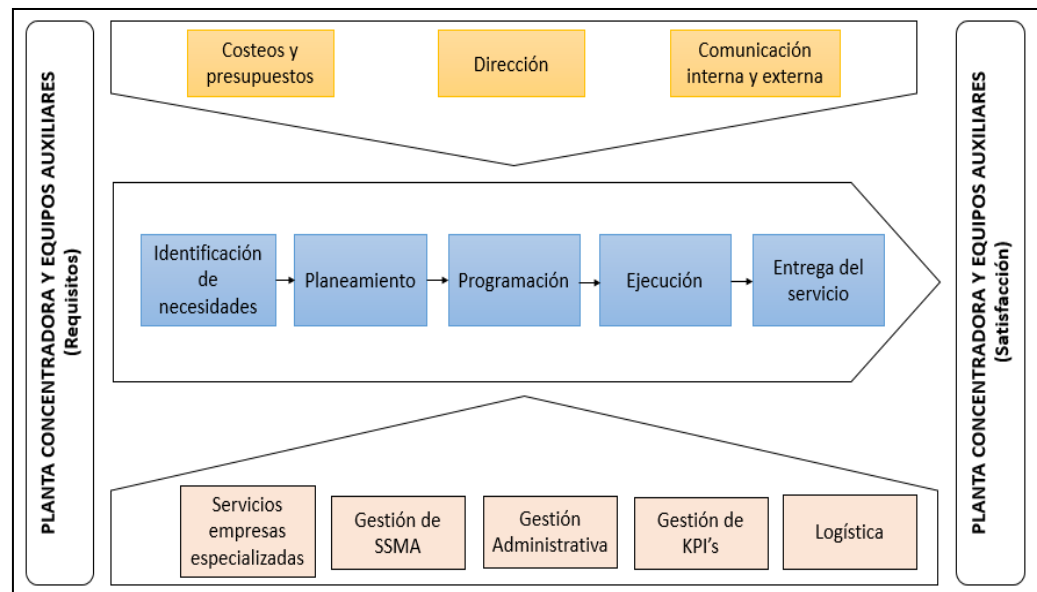


**Fuente: C.M.C. S.A.A.**

### 3.2.1 Mapa de procesos del Área de Mantenimiento

A continuación se muestra el mapa de procesos actual del área de mantenimiento:

**Figura N° 16: Mapa de procesos de Mantenimiento**



**Fuente: Elaboración propia**

### 3.2.2 Funcionamiento de la unidad de Mantenimiento

- La Empresa autoriza el presupuesto anual de Mantenimiento Planta que refleja el plan anual de mantenimiento y se hace responsable de abastecer los recursos necesarios para su correcto cumplimiento
- El área desempeña sus actividades en el marco legal vigente para las actividades mineras nacionales, políticas y procedimientos internos de la empresa.
- Se deberá garantizar la confiabilidad de los activos necesaria para la operación cumpliendo con los estándares y procedimientos de seguridad, salud ocupacional y medio ambiente.
- Para realizar todo trabajo de mantenimiento, se deberá tener una Orden de Trabajo debidamente autorizada.
- Mantenimiento Planta considera que lo más importante para cumplir sus actividades es el recurso humano por lo que se preocupa por mantener un ambiente seguro, saludable y agradable para el

desarrollo de las actividades, incentiva el crecimiento individual y grupal mediante la comunicación efectiva y la capacitación constante.

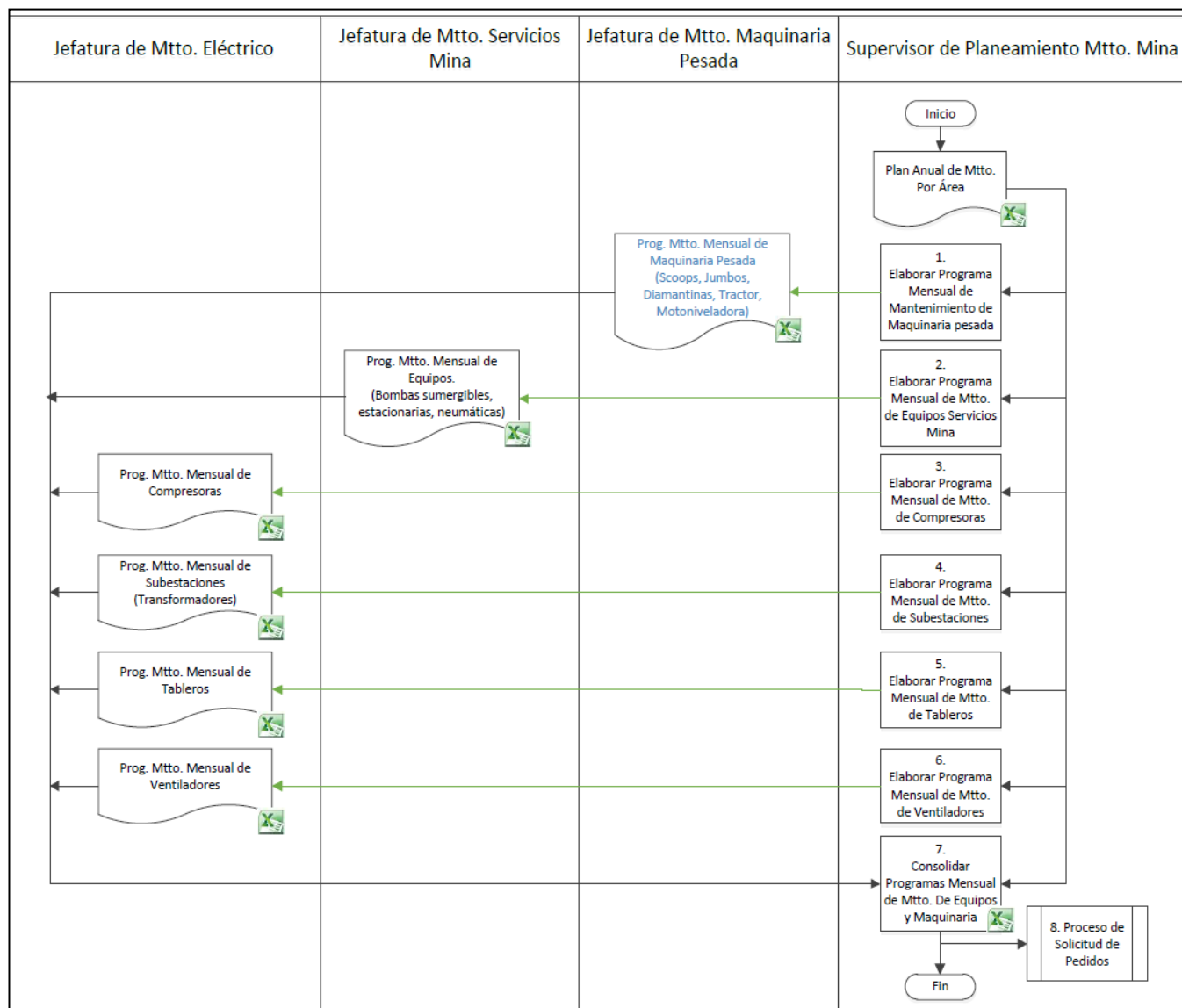
- Es responsabilidad del área mantener actualizado un inventario técnico de los activos que permita conocer su universo de acción, facilitando su ubicación, estado e información técnica de los equipos, para fines de planificación y toma de decisiones.
- Es primordial mantener la vinculación con el área de logística para el abastecimiento oportuno de los materiales y servicios, para lo cual deberá cumplirse con las políticas y procedimientos establecidos por dicho departamento.
- El área dentro de una estrategia de mejora continua promoverá e implementará innovaciones tecnológicas a los activos y procesos con la finalidad de optimizar la operación y reducir costos de mantenimiento.

### **3.2.3 Objetivos de mantenimiento de planta**

- Cumplir con la disponibilidad ofrecida y el costo presupuestado.
- Implementar cada uno de los Procesos de Mantenimiento.
- Actualizar e implementar el Manual de funciones.
- Implementar un Plan anual de capacitación a nivel obrero y empleado.
- Cumplir con el Sistema de gestión de seguridad Implementado por la empresa para las actividades de mantenimiento.
- Optimizar los planes de mantenimiento Preventivo
- Mejorar e implementar planes de mantenimiento Predictivo.

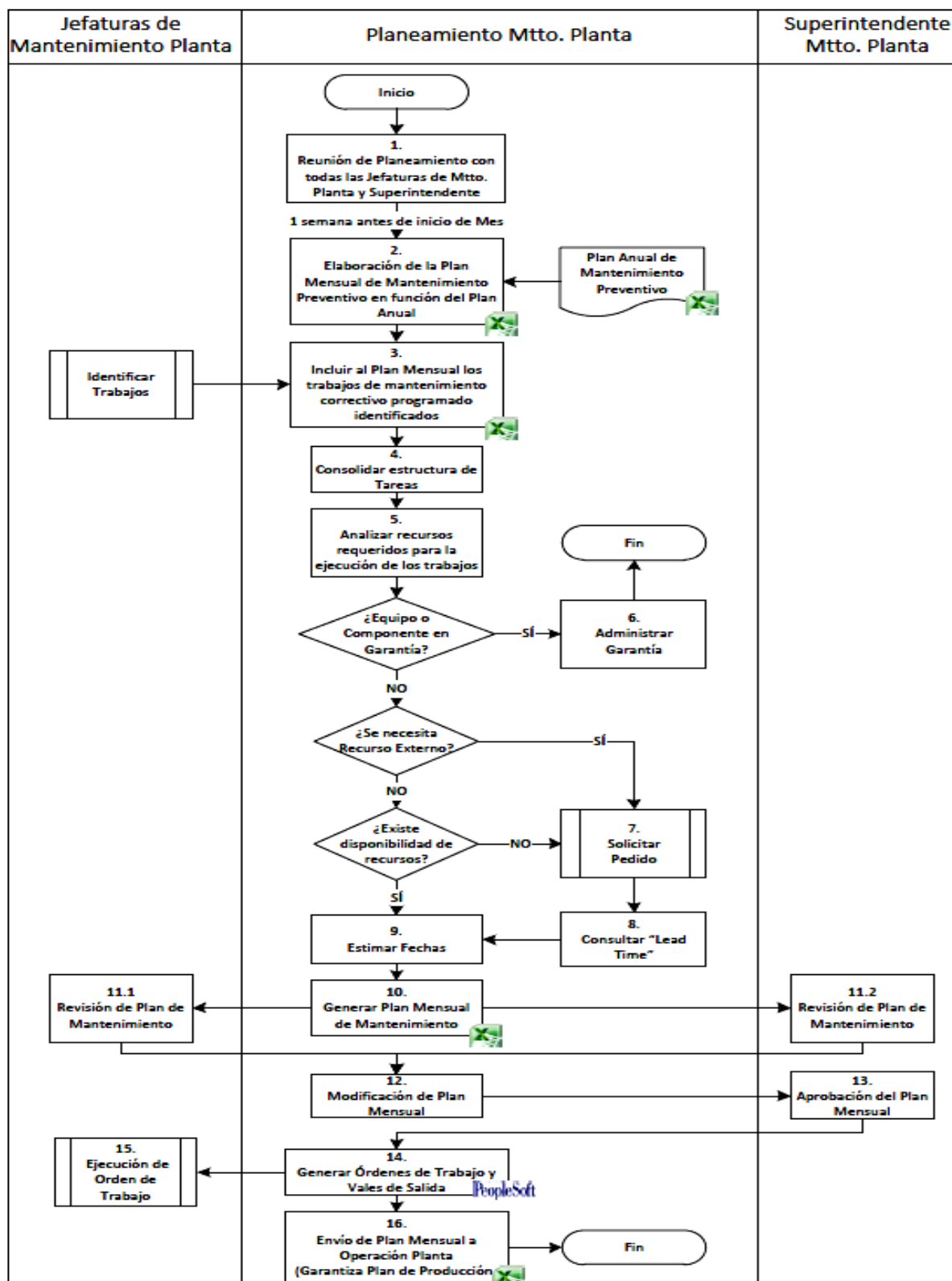
### 3.2.4 Flujograma del área Mantenimiento

**Gráfico N° 10: Elaboración del programa mensual de mantenimiento preventivo**



**Fuente: Elaboración propia**

**Gráfico N° 11: Planificación mensual del mantenimiento preventivo y correctivo programado – Mantto planta**



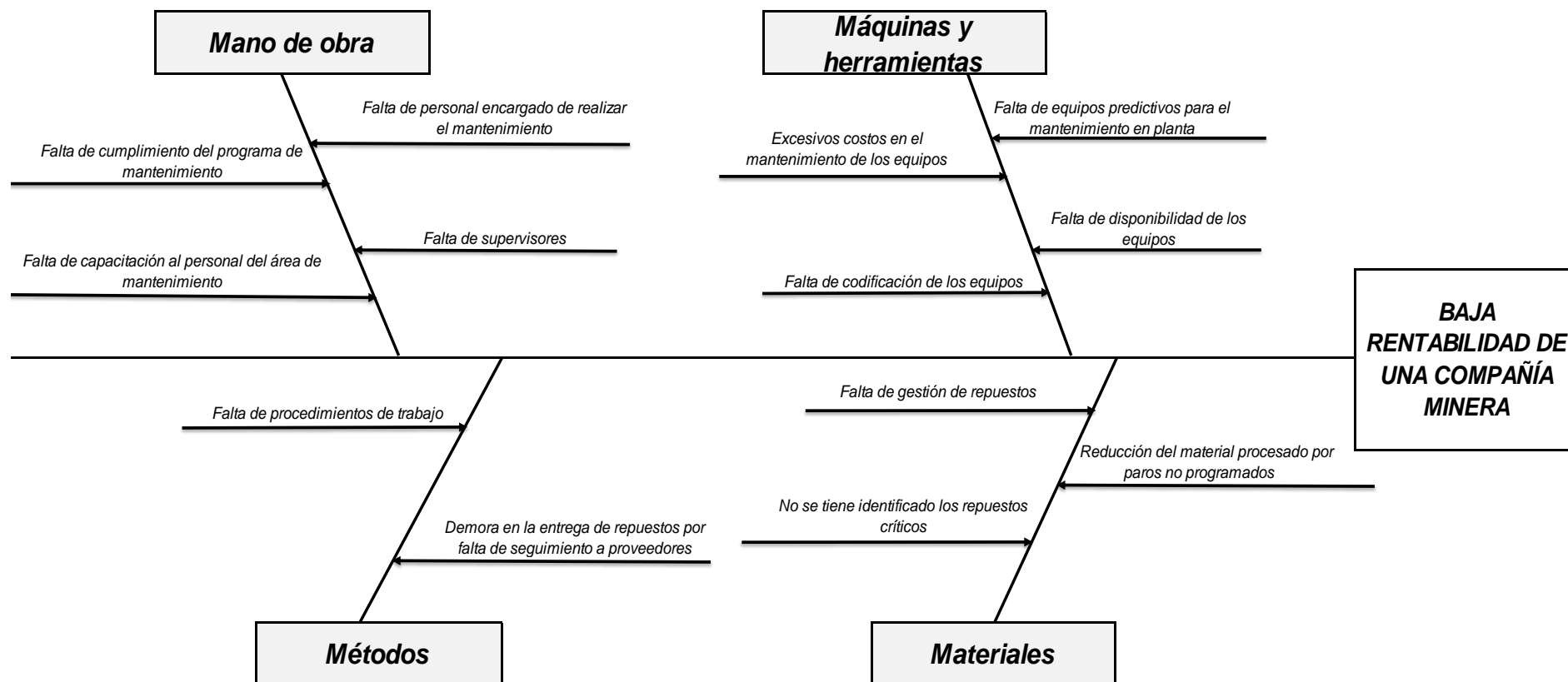
Fuente: Elaboración propia



### 3.3 Identificación de problemas e indicadores actuales

#### 3.3.1. Diagrama de Ishikawa

Gráfico N° 12: Causas de la baja rentabilidad de la C.M.C.S.A.A.



Fuente: Elaboración propia

### 3.3.2. Matriz de priorización

Se evaluaron las causas mediante encuestas (Ver anexo N° 01), para establecer el orden de prioridad e identificar las causas raíces.

**Figura N° 17: Matriz de priorización para el área de Mantenimiento**

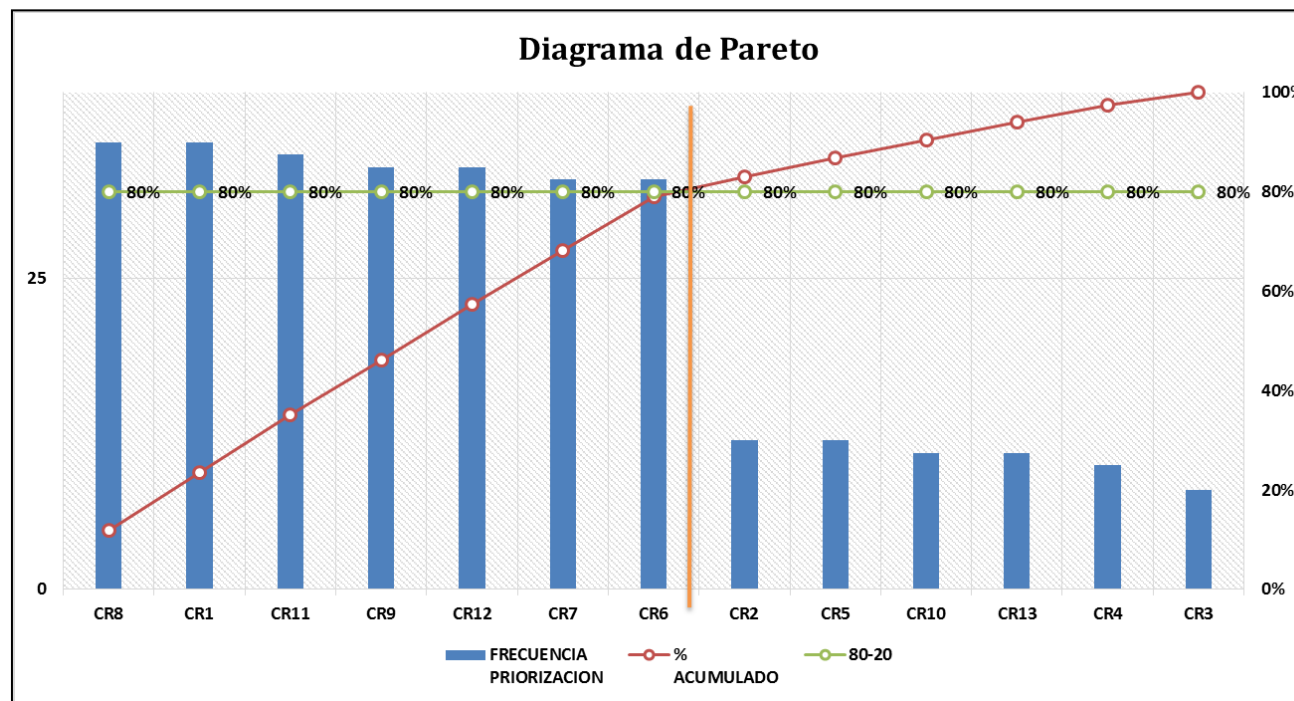
<div> <div>RESULTADOS</div> <div>CR</div> </div>	PUNTAJES												
	CR1	CR2	CR3	CR4	CR5	CR6	CR7	CR8	CR9	CR10	CR11	CR12	CR13
	Falta de cumplimiento del programa de mantenimiento	Demora en la entrega de repuestos por falta de seguimiento a proveedores	Falta de personal encargado de realizar el mantenimiento	Falta de supervisores	Falta de procedimientos de trabajo	Falta de capacitación al personal del área de mantenimiento	Reducción del material procesado por paros no programados	Excesivos costos en el mantenimiento de los equipos	Falta de equipos predictivos para el mantenimiento en planta	Falta de codificación de los equipos	Falta de gestión de repuestos	Falta de disponibilidad de los equipos	No se tiene identificado los repuestos críticos
<b>Jefe de mantenimiento</b>	3	1	1	1	1	3	2	3	3	1	3	3	1
<b>Supervisor de Mantenimiento</b>	3	1	1	1	1	3	3	3	3	1	3	3	1
<b>Mecánico 1</b>	3	1	0	0	1	3	3	3	3	1	3	3	0
<b>Mecánico 2</b>	3	1	1	1	1	3	3	3	3	1	3	3	1
<b>Mecánico 3</b>	3	1	0	0	1	1	2	3	2	0	3	2	1
<b>Mecánico 4</b>	3	1	1	1	1	3	3	3	3	1	3	3	1
<b>Mecánico 5</b>	3	1	0	1	1	3	3	3	3	1	3	3	1
<b>Asistente de mantenimiento</b>	3	1	1	1	1	3	3	3	3	1	2	3	1
<b>Planner de mantenimiento</b>	3	1	1	1	1	2	2	3	2	1	3	2	1
<b>Operario de producción 1</b>	3	1	0	1	1	3	3	3	3	1	3	3	1
<b>Operario de producción 2</b>	3	1	1	1	1	3	3	3	3	1	3	3	1
<b>Operario de producción 3</b>	3	1	1	1	1	3	3	3	3	1	3	3	1
<b>Calificación total</b>	<b>36</b>	<b>12</b>	<b>8</b>	<b>10</b>	<b>12</b>	<b>33</b>	<b>33</b>	<b>36</b>	<b>34</b>	<b>11</b>	<b>35</b>	<b>34</b>	<b>11</b>

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.3. Pareto

Según la matriz de priorización se determinó las causas más importantes y las cuales se buscará dar solución, a continuación se muestra la clasificación según el diagrama Pareto.

**Figura N° 18: Diagrama de Pareto**



**Fuente: Elaboración propia**

Según la clasificación se considera relevante las causas: CR8, CR1, CR11, CR9, CR12, CR7, y CR6.

### 3.3.4. Indicadores actuales y metas proyectadas

**Cuadro N° 06: Indicadores actuales y propuesta de mejora a utilizar**

CR	Descripción	Indicador %	Formula	VA %	Pérdida \$.	VF%	Pérdida \$.	Herramienta	Metodología utilizada
CR8	Excesivos costos en el mantenimiento de los equipos	% de exceso de presupuesto de los costos de mantenimiento	$\left(\frac{\text{Costo real del área de mantenimiento}}{\text{Costo presupuestado del área de mantto.}} \times 100\%\right) - 100\%$	10%	\$621,869	1%	\$38,584	Identificación de las fallas más comunes de los equipos críticos	SISTEMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO
CR1	Falta de cumplimiento del programa de mantenimiento	% de cumplimiento de Ordenes de trabajo	$\left(\frac{\text{N° de OT realizadas}}{\text{N° DE OT planificadas}} \times 100\%\right)$	81%		92%		Determinación de la frecuencia de inspección predictiva	
CR11	Falta de gestión de repuestos	% Costo de repuestos de chancadoras y molinos frente al costo total de repuestos	$\left(\frac{\text{Costo de repuestos de chancadoras y molinos}}{\text{Costo total de repuestos}}\right) \times 100\%$	81%		68%		Identificación de las fallas más comunes de los equipos críticos	
CR9	Falta de equipos predictivos para el mantenimiento en planta	Número de equipos predictivos	Número de equipos predictivos	0		10		Compra de equipos predictivos	
CR12	Falta de disponibilidad de los equipos	% de disponibilidad faltante para alcanzar la disponibilidad planificada	% de Disponibilidad presupuestada chancadoras - % Disponibilidad real chancadoras	4.29%	\$6,982,144	1.79%	\$3,883,227	Identificación de las fallas más comunes de los equipos críticos	
			% de Disponibilidad presupuestada molinos - % Disponibilidad real molinos	3.55%		1.25%			
CR7	Reducción del material procesado por paros no programados	Toneladas dejadas de vender de material fino pagable(MFP)	Ton MFP presupuestadas a obtener – Ton MFP obtenidas y vendidas	1219		663			
		% de Eficiencia del material procesado	$\frac{\text{Ton de material procesado}}{\text{Ton de material a procesar presupuestado}} \times 100\%$	93.78%		96.57%			
CR6	Falta de capacitación al personal del área de mantenimiento	% Inversión en capacitación del área de mantto	$\frac{\text{Dinero invertido en capacitación mantto.}}{\text{Costo total del área de mantenimiento}} \times 100\%$	1%	\$1,545,816	2%	\$1,313,944	Cronograma de capacitaciones	
		% de Inversión en servicio de mantenimiento por terceros	$\frac{\text{Dinero invertido en servicio de mantto externo.}}{\text{Costo total del área de mantenimiento}} \times 100\%$	21.6%		18.4%			

**Fuente: Elaboración propia**

**a. Excesivos costos en el mantenimiento de los equipos– cr8**

En el año 2015 el área de mantenimiento, obtuvo como costo total el valor de \$7,150,677, siendo el monto presupuestado \$6,528,809 . Lo cual representa un incremento sobre el presupuesto de 10%(\$621,868). Así como se muestra en cuadro N° 07.

**Cuadro N° 07: Costos de mantenimiento 2015**

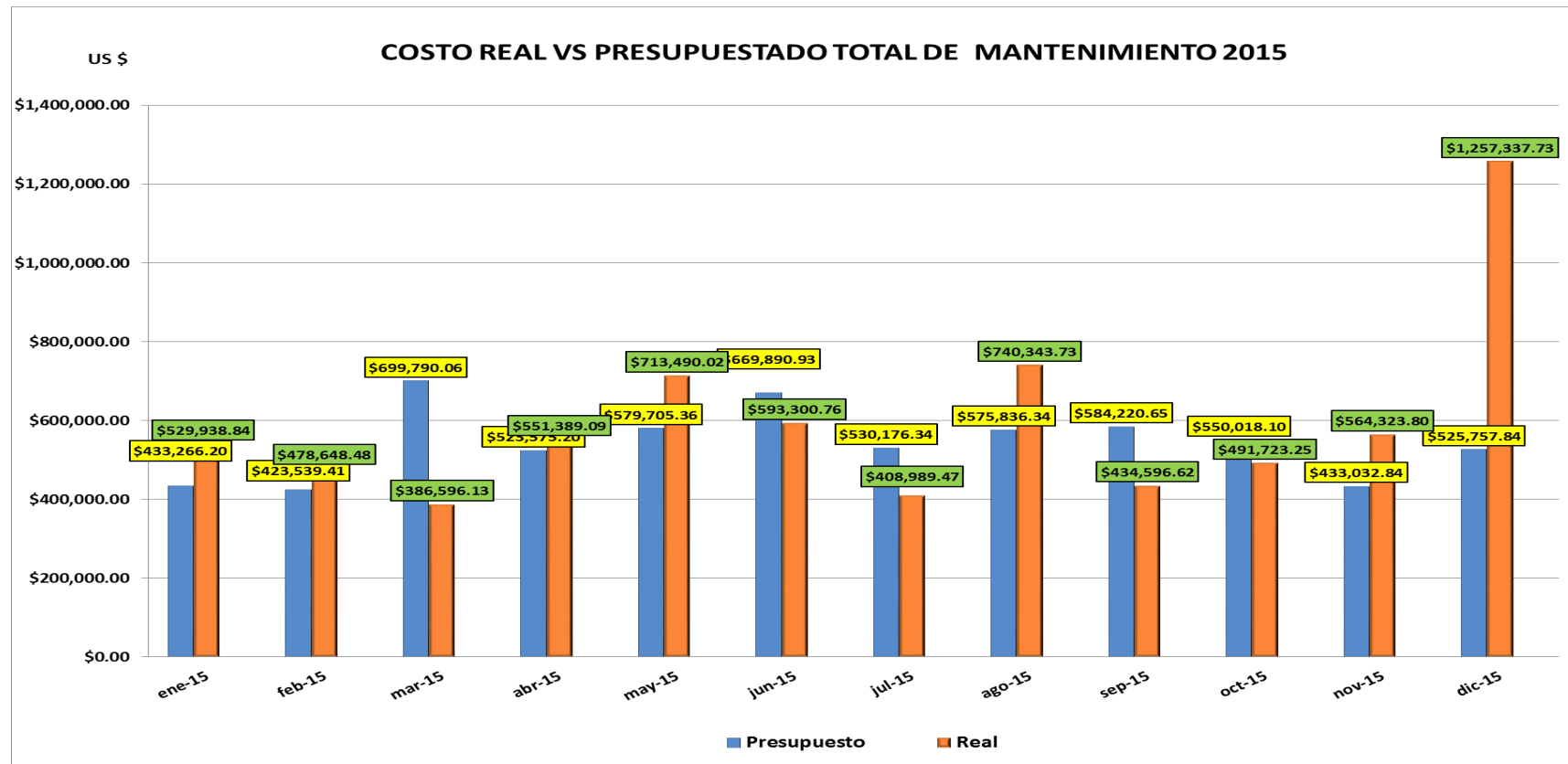
NOMBRE GRUPO		ene-15	feb-15	mar-15	abr-15	may-15	jun-15	jul-15	ago-15	sep-15	oct-15	nov-15	dic-15	Total
MATERIALES	Presupuesto	\$216,393.46	\$200,239.45	\$486,317.33	\$265,387.46	\$285,786.58	\$400,318.19	\$285,181.38	\$356,888.60	\$362,097.91	\$318,580.36	\$231,310.10	\$231,310.10	\$3,639,810.91
	Real	\$252,444.06	\$252,956.42	\$211,515.96	\$259,663.14	\$374,566.82	\$281,940.13	\$193,085.97	\$488,473.13	\$291,357.26	\$231,429.54	\$288,897.24	\$740,274.95	\$3,866,604.62
PERSONAL	Presupuesto	\$90,959.65	\$90,959.65	\$90,959.65	\$90,959.65	\$90,959.65	\$90,959.65	\$90,959.65	\$90,959.65	\$90,959.65	\$90,959.65	\$90,959.65	\$90,959.65	\$1,091,515.75
	Real	\$170,211.95	\$104,241.92	\$103,298.26	\$107,412.24	\$98,955.24	\$106,501.65	\$103,138.22	\$99,543.17	\$100,428.53	\$98,079.13	\$97,838.47	\$109,644.98	\$1,299,293.76
SERVICIOS	Presupuesto	\$125,177.97	\$131,605.20	\$121,777.97	\$166,492.97	\$202,224.02	\$177,877.97	\$153,300.20	\$127,252.97	\$130,427.97	\$139,742.97	\$110,027.97	\$202,752.97	\$1,788,661.17
	Real	\$106,599.63	\$120,426.07	\$71,113.94	\$183,636.39	\$237,179.95	\$203,980.16	\$111,952.38	\$148,553.48	\$42,148.18	\$161,579.46	\$176,927.25	\$406,763.35	\$1,970,860.24
OTROS	Presupuesto	\$735.12	\$735.12	\$735.12	\$735.12	\$735.12	\$735.12	\$735.12	\$735.12	\$735.12	\$735.12	\$735.12	\$735.12	\$8,821.44
	Real	\$683.20	\$1,024.07	\$667.97	\$677.32	\$2,788.01	\$878.82	\$812.90	\$3,773.95	\$662.65	\$635.12	\$660.84	\$654.45	\$13,919.30
Total general	Presupuesto	\$433,266.20	\$423,539.41	\$699,790.06	\$523,575.20	\$579,705.36	\$669,890.93	\$530,176.34	\$575,836.34	\$584,220.65	\$550,018.10	\$433,032.84	\$525,757.84	\$6,528,809.28
	Real	\$529,938.84	\$478,648.48	\$386,596.13	\$551,389.09	\$713,490.02	\$593,300.76	\$408,989.47	\$740,343.73	\$434,596.62	\$491,723.25	\$564,323.80	\$1,257,337.73	\$7,150,677.92

**Fuente: Elaboración propia**

En el 2015, se tuvo un exceso de 6% (\$226,793) en los costos presupuestados de los materiales, 19% (\$207,778) en los costos presupuestados del personal, 10% (\$182,199) en los costos presupuestados de los servicios y 58% (\$5,097) en otros costos.

A continuación se muestra una representación gráfica de los datos antes mencionados.

Gráfico N° 13: Costo real vs Costo presupuestado de Mantenimiento - 2015



Fuente: Elaboración propia

**b. Falta de cumplimiento del programa de mantenimiento– cr1**

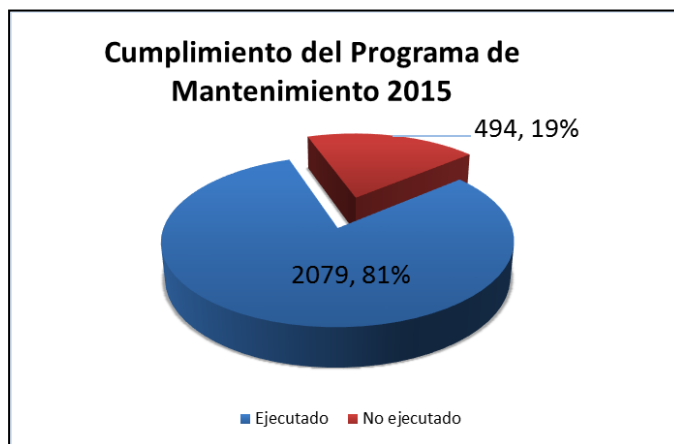
En el año 2015 el área de mantenimiento, obtuvo un cumplimiento del programa de mantenimiento del 81% debido a que de las 2573 tareas programadas solamente se llegó a ejecutar 2079 tareas. Así como se muestra en el cuadro N° 08 y gráfico N° 14.

**Cuadro N° 08: Tareas programadas vs Tareas ejecutadas del Programa de Mantenimiento - 2015**

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
Trabajos	Tareas	Tareas	Tareas	Tareas	Tareas	Tareas	Tareas	Tareas	Tareas	Tareas	Tareas	Tareas	Tareas
Programado	310	189	170	172	400	212	189	178	189	188	181	195	2573
Ejecutado	233	112	100	144	350	168	161	160	172	158	154	167	2079
Cumplimiento	75%	59%	59%	84%	88%	79%	85%	90%	91%	84%	85%	86%	81%
META	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

**Fuente: Elaboración propia**

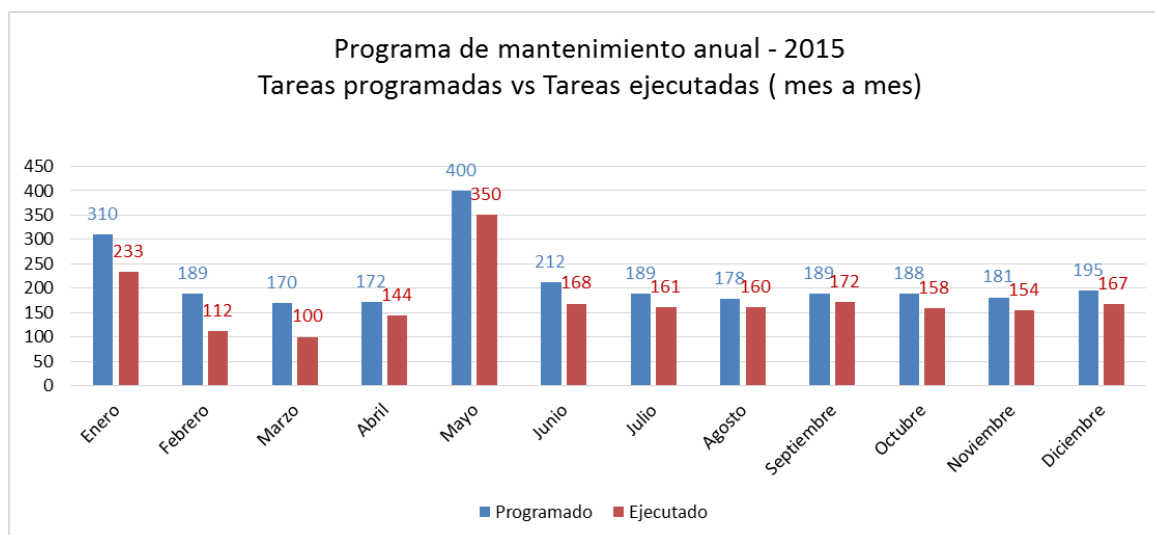
**Gráfico N° 14: Cumplimiento del Programa de Mantenimiento 2015**



**Fuente: Elaboración propia**

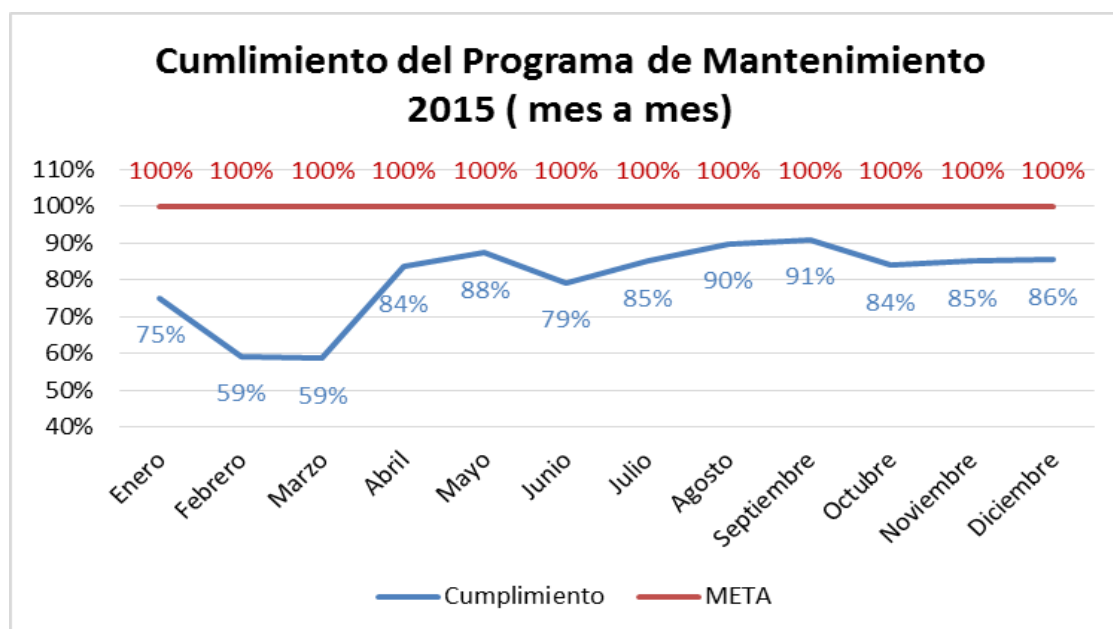
A continuación se muestran 2 gráficos en donde se visualiza mes a mes la información del cumplimiento de Programa de Mantenimiento 2015.

**Gráfico N° 15: Tareas programadas vs Tareas ejecutadas 2015 (Mes a mes)**



Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico N° 16: Cumplimiento del Programa de Mantenimiento 2015 (mes a mes)**



Fuente: Elaboración Propia



### c. Falta de gestión de repuestos- cr11

Actualmente, la empresa no tiene identificado cuáles son los repuestos críticos, a pesar que se sabe que de los 182 equipos, los equipos que determinan la disponibilidad de la planta son los que conforman los procesos de chancado y molienda, ya que de todo el material procesado por estas máquinas se obtendrá el concentrado de cobre.

Además se sabe que en el año 2015 se gastó \$1,911,027 en repuestos para las chancadoras y \$431,723 en repuestos para los molinos, sumando un total de \$2,342,750, llegando a representar el 81% del monto total gastado en repuestos el cual fue de \$2,907,399.

Cabe mencionar que en el año 2015, el gasto en repuestos para chancadoras y molinos representó el 33% del costo total del área de mantenimiento el cual fue de \$7, 150,678. Así como se muestra en el cuadro N° 09.

**Cuadro N° 09: Costo de repuestos para las chancadoras y molinos 2015**

REPUESTOS	USD	%
COSTO DE REPUESTOS DE CHANCADORAS	1,911,027	66%
COSTO DE REPUESTOS DE MOLINOS	431,723	15%
COSTO TOTAL DE REPUESTOS AÑO 2015	2,907,399	100%
<b>PARTICIPACIÓN DE REPUESTOS DE CHANCADORAS Y MOLINOS VS COSTO TOTAL DE MANTTO.</b>		
REPUESTOS	USD	%
COSTO TOTAL DE REPUESTOS AÑO 2015	2,907,399	41%
COSTO DE REPUESTOS DE CHANCADORAS Y MOLINOS	2,342,750	33%
COSTO TOTAL DE MANTENIMIENTO	7,150,678	100%

**Fuente: Elaboración Propia**

Es por ello que en el presente estudio se planteará una metodología para determinar la cantidad de repuestos que son necesarios tener en el almacén en función de las fallas críticas de los equipos de chancado y molienda.

#### d. Falta de disponibilidad de los equipos-cr12

Como se mencionó en el punto anterior la empresa planifica las toneladas de material que procesará en el año en función de la disponibilidad esperada de los equipos de los procesos de chancado y molienda.

Es así pues que en el año 2015 la empresa obtuvo en promedio una disponibilidad de 93.92% en los equipos de chancado y 94.16% para los equipos de molienda, así como se muestra a continuación en los siguientes cuadros:

**Cuadro N° 10: Disponibilidad real de los equipos de Chancado**

CHANCADO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	PROMEDIO ACUMULADO AÑO
HP500	92.78%	89.84%	94.89%	94.51%	94.69%	93.31%	95.91%	96.98%	98.42%	96.71%	96.39%	97.85%	95.19%
HP400 N° 05	92.78%	89.84%	94.15%	94.33%	95.09%	91.37%	95.03%	94.06%	95.98%	94.49%	97.22%	97.04%	94.28%
HP400 N° 01	92.78%	88.13%	94.56%	94.77%	92.27%	90.47%	91.35%	97.49%	96.88%	94.09%	93.33%	95.09%	93.43%
HP400 N° 02	91.77%	89.69%	93.95%	93.10%	91.53%	93.52%	92.35%	92.61%	93.44%	94.69%	97.50%	89.95%	92.84%
HP400 N° 03	91.71%	87.61%	95.56%	93.87%	93.48%	92.86%	95.39%	97.31%	99.58%	95.16%	95.80%	96.51%	94.57%
HP400 N° 04	79.21%	88.95%	92.61%	91.92%	94.62%	92.39%	88.15%	96.51%	96.88%	91.67%	96.39%	97.72%	92.25%
CH. SANDVIK	97.18%	90.59%	96.71%	97.50%	92.88%	97.97%	96.71%	83.31%	97.92%	96.37%	97.36%	93.95%	94.87%
Disponibilidad Real	91.17%	89.24%	94.63%	94.29%	93.51%	93.13%	93.55%	94.04%	97.01%	94.74%	96.28%	95.44%	93.92%

**Fuente: Elaboración Propia**

**Cuadro N° 11: Disponibilidad real de los equipos de Molienda**

MOLIENDA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	PROMEDIO ACUMULADO AÑO
MOLINO N° 07	93.11%	93.23%	95.46%	94.41%	94.56%	94.93%	94.23%	96.20%	95.24%	95.80%	94.31%	97.31%	94.90%
MOLINO N° 06	90.56%	92.78%	95.53%	95.80%	94.35%	95.17%	94.50%	96.20%	95.14%	95.16%	94.31%	95.77%	94.61%
MOLINO N° 05	92.88%	92.78%	96.03%	94.86%	93.28%	94.90%	94.99%	91.03%	94.62%	95.43%	94.10%	94.66%	94.13%
MOLINO N° 04	94.46%	88.58%	96.10%	93.75%	92.84%	94.97%	93.58%	77.22%	94.72%	91.83%	91.67%	92.10%	91.82%
MOLINO N° 03	92.41%	89.25%	96.44%	94.65%	93.11%	95.17%	93.56%	92.07%	91.94%	94.42%	92.60%	92.41%	93.17%
MOLINO N° 02	93.48%	88.54%	96.94%	93.37%	91.77%	95.31%	93.51%	91.87%	92.78%	92.37%	94.41%	94.89%	93.27%
MOLINO N° 01	94.93%	95.68%	97.58%	95.10%	95.09%	95.31%	95.43%	94.66%	92.64%	97.01%	94.97%	93.18%	95.13%
Disponibilidad Real	92.56%	92.02%	95.81%	94.72%	93.82%	95.03%	94.29%	92.81%	94.65%	94.89%	93.89%	95.42%	94.16%

**Fuente: Elaboración Propia**

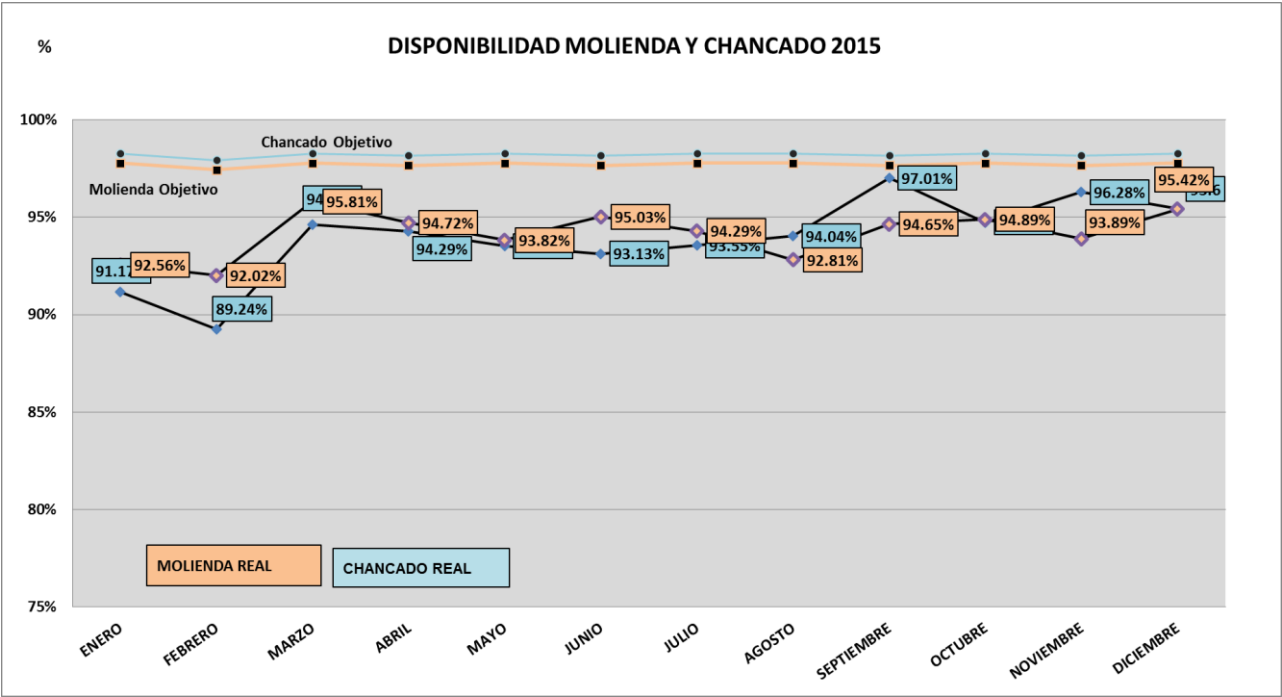
Si se compara la disponibilidad real con la disponibilidad presupuestada, se ve que ninguno de los 2 equipos logró alcanzar la disponibilidad presupuestada. Debido a que se obtuvo una disponibilidad real de 93.92% en las chancadoras teniendo una disponibilidad presupuestada de 98.21%, así mismo los molinos obtuvieron una disponibilidad real de 94.16% teniendo como disponibilidad presupuestada de 97.71%. Así como se muestra en el cuadro N°12 y el gráfico N°13.

**Cuadro N° 12: Disponibilidad real vs Disponibilidad presupuestada**

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	PROMEDIO ACUMULADO AÑO
CHANCADO REAL	91.17%	89.24%	94.63%	94.29%	93.51%	93.13%	93.55%	94.04%	97.01%	94.74%	96.28%	95.44%	93.92%
CHANCADO PRESUPUESTADO	98.27%	97.93%	98.27%	98.17%	98.27%	98.17%	98.27%	98.27%	98.17%	98.27%	98.17%	98.27%	98.21%
MOLIENDA REAL	92.56%	92.02%	95.81%	94.72%	93.82%	95.03%	94.29%	92.81%	94.65%	94.89%	93.89%	95.42%	94.16%
MOLIENDA PRESUPUESTADO	97.77%	97.43%	97.77%	97.67%	97.77%	97.67%	97.77%	97.77%	97.67%	97.77%	97.67%	97.77%	97.71%

**Fuente: Elaboración Propia**

**Gráfico N° 17: Disponibilidad real vs Disponibilidad presupuestada  
(Chancado y molienda)**



**Fuente: Elaboración Propia**

#### e. Reducción del material procesado por paros no programados - cr7

En el año 2015, la empresa presupuesto que se procesaría un total de 2,471,000 toneladas de material solido (TMS) y que se obtendría 19465 Toneladas de cobre fino pagables (TMF). Cabe mencionar que esto se presupuestó, asumiendo que se mantendría un disponibilidad en las chancadoras de 98.21% y en los molinos de 97.7%. Así como se muestra en el cuadro N° 13.

**Cuadro N° 13: Disponibilidad presupuestada vs TMF pagables presupuestado**

PRESUPUESTO													
	ene-15	feb-15	mar-15	abr-15	may-15	jun-15	jul-15	ago-15	sep-15	oct-15	nov-15	dic-15	Total 2015
Días de tratamiento	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365
Días Con mantenimiento	30	27	30	29	30	29	30	30	29	30	29	30	353
TPD (con mantenimiento)	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000
Ton. Mensuales	210,000	189,000	210,000	203,000	210,000	203,000	210,000	210,000	203,000	210,000	203,000	210,000	2,471,000
Toneladas por día	6,774	6,750	6,774	6,767	6,774	6,767	6,774	6,774	6,767	6,774	6,767	6,774	6,770
Toneladas por día	6,774	6,750	6,774	6,767	6,774	6,767	6,774	6,774	6,767	6,774	6,767	6,774	6,770
CAPACIDAD	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000
HORAS DE MANTENIMIENTO	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	288.00
DISPONIBILIDAD PPTO													
MOLIENDA	97.8%	97.4%	97.8%	97.7%	97.8%	97.7%	97.8%	97.8%	97.7%	97.8%	97.7%	97.8%	97.7%
CHANCADO	98.27%	97.93%	98.27%	98.17%	98.27%	98.17%	98.27%	98.27%	98.17%	98.27%	98.17%	98.27%	98.21%
TMF pagables ppto 2015	1,509	1,354	1,441	1,588	1,657	1,597	1,668	1,842	1,618	1,732	1,683	1,776	19,465

**Fuente: Elaboración Propia**

Sin embargo en el año 2015 se procesó 2,317,372 toneladas de material solido (TMS) y que se obtuvo 18,246 toneladas de cobre fino pagables (TMF), debido a que se obtuvo una disponibilidad real en las chancadoras de 93.92% y 94.16% para los molinos. Así como se muestra en el cuadro N° 14.

**Cuadro N° 14: Disponibilidad real vs TMF pagables real**

REAL													
	ene-15	feb-15	mar-15	abr-15	may-15	jun-15	jul-15	ago-15	sep-15	oct-15	nov-15	dic-15	Total 2015
Días de tratamiento	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365
Días Con mantenimiento	26.59	23.11	28.31	26.94	27.19	26.75	27.61	26.47	27.43	28.11	27.22	27.99	324
Toneladas anuales	195,457	174,467	199,429	190,930	200,259	193,963	198,563	185,268	195,344	194,684	190,482	198,526	2,317,372
TPD	6,305	6,231	6,433	6,364	6,460	6,465	6,405	5,976	6,511	6,280	6,349	6,404	5,631
DISPONIBILIDAD REAL													
	ene-15	feb-15	mar-15	abr-15	may-15	jun-15	jul-15	ago-15	sep-15	oct-15	nov-15	dic-15	Total 2015
MOLIENDA	92.56%	92.02%	95.81%	94.72%	93.82%	95.03%	94.29%	92.81%	94.65%	94.89%	93.89%	95.42%	94.16%
CHANCADO	91.17%	89.24%	94.63%	94.29%	93.51%	93.13%	93.55%	94.04%	97.01%	94.74%	96.28%	95.44%	93.92%
TMF pagables real 2015	1,404	1,250	1,368	1,493	1,580	1,526	1,578	1,625	1,557	1,606	1,579	1,679	18,246

**Fuente: Elaboración Propia**

Llegándose a determinar que en el año 2015 se obtuvo una eficiencia de 93.8%, significando que la empresa dejo de vender un total de 1219 TMF que equivale a un monto de \$6,982,143 o su equivalente en soles de S/. 23,041,075. Así como se muestra en el cuadro N° 15.

**Cuadro N° 15: Eficiencia de la producción**

	ene-15	feb-15	mar-15	abr-15	may-15	jun-15	jul-15	ago-15	sep-15	oct-15	nov-15	dic-15	Total 2015
<b>TONELADAS REALES</b>	195457	174467	199429	190930	200259	193963	198563	185268	195344	194684	190482	198526	2317372
<b>TONELADAS PRESUPUESTADAS</b>	210000	189000	210000	203000	210000	203000	210000	210000	203000	210000	203000	210000	2471000
<b>EFICIENCIA</b>	93.1%	92.3%	95.0%	94.1%	95.4%	95.5%	94.6%	88.2%	96.2%	92.7%	93.8%	94.5%	93.8%
	ene-15	feb-15	mar-15	abr-15	may-15	jun-15	jul-15	ago-15	sep-15	oct-15	nov-15	dic-15	Total 2015
TMF pagables ppto 2015	1508.58	1354.46	1440.75	1587.81	1657.29	1597.23	1668.43	1841.93	1617.57	1732.34	1682.77	1776.04	19465.21
TMF pagables real 2015	1404.11	1250.31	1368.23	1493.40	1580.41	1526.13	1577.56	1625.00	1556.56	1606.00	1579.00	1679.00	18245.72
diferencia	104.47	104.15	72.52	94.41	76.88	71.10	90.87	216.93	61.00	126.34	103.77	97.04	1219.48
	ene-15	feb-15	mar-15	abr-15	may-15	jun-15	jul-15	ago-15	sep-15	oct-15	nov-15	dic-15	Total 2015
USD/Ton	\$6,265.53	\$6,023.02	\$6,446.31	\$6,369.15	\$6,534.49	\$6,113.41	\$5,842.24	\$5,326.36	\$5,511.55	\$5,370.45	\$5,161.02	\$4,717.89	
Perdida dolares	\$654,559.57	\$627,310.46	\$467,509.18	\$601,318.61	\$502,361.22	\$434,671.53	\$530,878.26	\$1,155,437.67	\$336,228.59	\$678,522.82	\$535,543.82	\$457,802.24	\$6,982,143.96
Perdida soles	S/. 2,160,047	S/. 2,070,125	S/. 1,542,780	S/. 1,984,351	S/. 1,657,792	S/. 1,434,416	S/. 1,751,898	S/. 3,812,944	S/. 1,109,554	S/. 2,239,125	S/. 1,767,295	S/. 1,510,747	S/. 23,041,075

**Fuente: Elaboración Propia**

Además, de los cuadros anteriores se puede visualizar que dentro de su planificación de la disponibilidad se asignó un total de 12 días para mantenimiento y en realidad se obtuvo 41 días de mantenimiento.

**f. Falta de equipos predictivos para el mantenimiento en planta – cr9**

Actualmente la empresa no cuenta con equipos que le permitan hacer una detección y seguimiento del estado de los componentes de la maquinaria, tampoco practica el mantenimiento predictivo dentro de sus actividades de mantenimiento.

Esto se determinó, debido a que en el año 2015 se obtuvo para las chancadoras un total de 2266 horas de paradas para mantenimiento preventivo y 1327 horas de mantenimiento correctivo y para los molinos se obtuvo un total de 1720 horas de paradas para mantenimiento preventivo y 2036 horas de mantenimiento correctivo. Así como se muestra a continuación en el siguiente cuadro.

**Cuadro N° 16: Horas de mantenimiento preventivo (MP) y Mantenimiento correctivo (MC) en el año 2015**

CHANCADO	HORAS		TN PERDIDAS	
	MP	MC	TN PERDIDO MP	TN PERDIDO MC
HP500	298.10	0.00	116259.00	46722.00
HP400 N° 05	332.80	165.28	90854.40	45121.44
HP400 N° 01	362.73	209.07	68918.70	39722.54
HP400 N° 02	369.95	256.22	70660.45	48937.26
HP400 N° 03	310.10	161.49	59539.20	31005.31
HP400 N° 04	335.90	342.69	64828.70	66138.40
CH. SANDVIK	256.50	192.54	157747.50	118412.10
<b>TOTAL</b>	<b>2266</b>	<b>1327</b>	<b>628808</b>	<b>396059</b>
<b>Disponibilidad Real</b>	93.92%		1024867	

MOLIENDA	HORAS		TN PERDIDAS	
	MP	MC	TN PERDIDO MP	TN PERDIDO MC
MOLINO N° 07	247.00	198.40	24453.00	19641.60
MOLINO N° 06	240.50	231.15	16594.50	15949.35
MOLINO N° 05	269.75	244.05	15375.75	13910.85
MOLINO N° 04	257.25	459.00	7203.00	12852.00
MOLINO N° 03	239.00	356.90	5258.00	7851.80
MOLINO N° 02	237.00	349.80	4029.00	5946.60
MOLINO N° 01	229.50	196.75	22720.50	19478.25
<b>TOTAL</b>	<b>1720</b>	<b>2036</b>	<b>95634</b>	<b>95630</b>
<b>Disponibilidad Real</b>	94.16%		191264	

**Fuente: Elaboración Propia**

**g. Falta de capacitación al personal del área de mantenimiento –cr6**

En el año 2015, la empresa destinó \$ 45,190 en capacitación (asesores y consultores), esto significa que la empresa destino un 1% del total de sus costos totales del área de mantenimiento. Esto demuestra que no se invierte mucho dinero en capacitación del personal que se encarga de realizar las labores de mantenimiento.

Es por ello que se ven obligados a contratar servicios de terceros para que realicen el mantenimiento de su maquinaria, los cuales llegaron a tener un costo de \$ 1,545,816, representando el 22% del costo total de del área de mantenimiento.

**Cuadro N° 17: Costo de capacitación - 2015**

<b>SERVICIOS DE TERCEROS Y CAPACITACIÓN</b>	<b>USD</b>
Servicios de mantenimiento de equipos	1,545,816
Capacitación (Consultores y asesores)	45,190
<b>COSTO TOTAL DEL AREA DE MANTENIMIENTO AÑO 2015</b>	<b>7,150,678</b>

**Fuente: Elaboración Propia**



## **CAPÍTULO 4: SOLUCIÓN PROPUESTA**

## 4.1 Propuesta de mejora

### 4.1.1 Sistema de mantenimiento predictivo

A continuación se muestra en el cuadro N° 18, las causas raíces y metodología a utilizar como propuesta de mejora.

**Cuadro N° 18: Propuesta de mejora para las causas raíces**

CR	Descripción	Herramienta	Metodología a utilizar
CR8	Excesivos costos en el mantenimiento de los equipos	Identificación de las fallas más comunes de los equipos críticos	SISTEMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO
CR1	Falta de cumplimiento del programa de mantenimiento	Determinación de la frecuencia de inspección predictiva	
CR11	Falta de gestión de repuestos	Identificación de las fallas más comunes de los equipos críticos	
CR9	Falta de equipos predictivos para el mantenimiento en planta	Compra de equipos predictivos	
CR12	Falta de disponibilidad de equipos	Identificación de las fallas más comunes de los equipos críticos	
CR7	Reducción del material procesado por paros no programados		
CR6	Falta de capacitación al personal del área de mantenimiento	Cronograma de capacitaciones	

**Fuente: Elaboración propia**

Como se puede ver en el cuadro anterior la propuesta de mejora a realizar es:

#### a) Sistema de Mantenimiento Predictivo

A continuación se procederá a desarrollar la metodología propuesta anteriormente.

La propuesta de mejora del diseño de un sistema de mantenimiento predictivo en área de procesamiento de mineral de la compañía minera se desarrollará siguiendo los siguientes pasos:

- Listar todos los equipos
- Codificación de equipos
- Identificar y analizar los equipos críticos
- Determinar las fallas más comunes de los equipos críticos
- Determinación de las técnicas y equipos predictivos a utilizar.

- Determinación de la frecuencia de inspección.
- Flujograma del procedimiento para la realización de las inspecciones
- Elaboración de un programa de capacitación

A continuación se describe la propuesta de mejora del diseño del sistema de mantenimiento predictivo:

### 1. Listar todos los equipos con los que cuenta la empresa.

Actualmente la empresa cuenta con 182 equipos lo cuales han ido agrupados por subsistemas:

**Cuadro N° 19: Número de equipos totales por sistemas**

EQUIPOS DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN	N° EQUIPOS
Chancado Primario	6
Chancado Primario Standby	5
Chancado Secundario	7
Chancado terciario	5
Chancado cuaternario	37
Molienda	33
Flotación	28
Espesamiento y filtrado de concentrados	21
Espesamiento de Relaves	21
Preparación de Feculante	1
Abastecimiento de Agua	14
Otros	4
Total	182

**Fuente: Elaboración propia**

A continuación se detallan los 182 equipos con los que cuenta la empresa:

**Cuadro N° 20: Lista de equipos de CMC S.A.A. -1**

N°	NOMBRE DEL EQUIPO
1	Rompedor de Bancos
2	Apron Feeder
3	Grizzly Vibratorio Chancadora SANDVIK
4	Chancadora SANDVIK
5	Faja N° 1' de Descarga
6	Faja de alimentación N° 1C
7	Grizzly vibrat. Chancadora Metso
8	Faja de alimentación N° 1A
9	Faja de alimentación N° 1B
10	Faja de alimentación N° 1
11	Stock pile
12	Faja de alimentación A
13	Faja de alimentación B
14	Faja de alimentación C
15	Faja de alimentación D
16	Faja de alimentación 1D
17	Chancadora HP-500
18	Faja de alimentación N° 1E
19	Faja de alimentación N° 1F
20	Zaranda vibratoria N°5
21	Chancadora HP-400 N°5
22	Faja N° 3A
23	Faja de alimentación N° 3
24	Faja de alimentación N° 4
25	Faja de alimentación N° 4A
26	Tolvas de transferencias de Zarandas
27	Faja de alimentación zaranda 2
28	Faja de alimentación zaranda 1
29	Faja de alimentación zaranda 3
30	Faja de alimentación zaranda 4
31	Zaranda Vibratoria N°2
32	Zaranda Vibratoria N°1
33	Zaranda Vibratoria N°3
34	Zaranda Vibratoria N°4
35	Faja de alimentación N° 8
36	Faja de alimentación N° 9
37	Faja de alimentación N° 10
38	Faja de alimentación N° 11
39	Faja de alimentación N° 12
40	Faja de alimentación N° 13
41	Faja de alimentación N° 14
42	Faja de alimentación N° 15
43	Faja de alimentación N° 5
44	Faja de alimentación N° 6
45	Faja de alimentación N°6A
46	Faja de alimentación N°6B
47	Faja de alimentación N°6C
48	Faja alimentadora HP N° 4
49	Chancadora HP-400 N°4
50	Faja de descarga (FDC) Chancadora N°4
51	Faja alimentadora HP N° 2
52	Chancadora HP-400 N°2
53	Faja de descarga (FDC) Chancadora N°2
54	Faja alimentadora HP N° 1
55	Chancadora HP-400 N°1
56	Faja de descarga (FDC) Chancadora N°1
57	Faja alimentadora HP N° 3
58	Chancadora HP-400 N°3
59	Faja de descarga (FDC) Chancadora N°3
60	Faja con Balanza alimentadora Molino N°3
61	Molino N°3
62	Bomba 1 Molino N°3
63	Bomba 2 Molino N°3
64	Zaranda de Alta Frecuencia N°7 - Molino N°3
65	Faja Balanza alimentadora Molino N°2
66	Molino N°2
67	Bomba 1 Molino N°2
68	Bomba 2 Molino N°2

**Fuente: Elaboración propia**

**Cuadro N° 21: Lista de equipos de CMC S.A.A. -2**

N°	NOMBRE DEL EQUIPO
69	Faja Balanza alimentadora Molino N°4
70	Molino N°4
71	Bomba 1 Molino N°4
72	Bomba 2 Molino N°4
73	Zaranda de Alta Frecuencia N°1 - Molino N°4
74	Faja Balanza alimentadora Molino N°5
75	Molino N°5
76	Bomba 1 Molino N°5
77	Bomba 2 Molino N°5
78	Hidrociclón D-26 Molino N°5
79	Zaranda de Alta Frecuencia N°2 - Molino N°5
80	Faja Balanza alimentadora Molino N°6
81	Molino N°6
82	Bomba 1 Molino N°6
83	Bomba 2 Molino N°6
84	Hidrociclón D-26 Molino N°6
85	Zaranda de Alta Frecuencia N°3 - Molino N°6
86	Faja Balanza alimentadora Molino N°7
87	Molino N°7
88	Bomba 1 Molino N°7
89	Bomba 2 Molino N°7
90	Bomba 2 Molino N°7
91	Zaranda de Alta Frecuencia N°5 - Molino N°7
92	Zaranda de Alta Frecuencia N°4 - Molino N°7
93	Zaranda de Alta Frecuencia N°6 - Molino N°7
94	Muestreador automático 1 (cabeza)
95	Banco de 04 celdas OK- 38 ROUGHER
96	Celdas OK-38 (circuito scavenger - 04 unid)
97	Banco de 04 celdas OK - 38 scavenger 2
98	Cajón de Paso 1
99	Celdas wemco (circuito scavenger - 04 unid - banco 1)
100	Celdas wemco (Circuito scavenger - 04 unid - banco 2)
101	Celdas wemco (Circuito scavenger - 06 unid - banco 3)
102	Cajón de paso 2
103	Celdas wemco (Circuito cleaner - 03 unid - banco 1)
104	Bomba vertical denver cleaner banco 1
105	Celdas wemco (Circuito cleaner - 04 unid - banco 2)
106	Bomba vertical denver cleaner banco 2
107	Celdas Denver (Circuito cleaner - 06 unid - banco 1)
108	Bomba vertical denver cleaner banco 3
109	Celdas Denver (Circuito cleaner - 10 unid - banco 2)
110	Celdas Denver (Circuito cleaner - 06 unid - banco 3)
111	Bomba vertical wemco cleaner
112	Bomba vertical de medios
113	Bomba Galigher 1 de medios
114	Bomba Galigher 2 de medios
115	Bomba Galigher 3 de medios
116	Molino N°1
117	Bomba Molino N°1
118	Nido de Hidrociclones D-10 (8 unid)
119	Celda OK 20
120	Sopladores SPENCER (x2)
121	Sopladores AIRTEC (x2)
122	Muestreador Automático 3 (concentrado)
123	Espesador de Concentrados N° 1

**Fuente: Elaboración propia**

**Cuadro N° 22: Lista de equipos de CMC S.A.A. -3**

N°	NOMBRE DEL EQUIPO
124	Bomba Galigher Espesador N° 1
125	Cajon de paso 3
126	Filtro de Tambor N° 1
127	Tanque de Compresión Filtro de Tambor N° 1
128	Bomba de vacio (700 cfm) filtro de tambor N° 1
129	Bomba de vacio (1000 cfm) filtro de tambor N° 1
130	Filtro de Tambor N° 2
131	Faja de carguio filtros de tambores
132	Tanque de compresión Filtro de Tambor N° 2
133	Bomba de vacio (700 cfm) filtro de tambor N° 2
134	Bomba de vacio (1000 cfm) filtro de tambor N° 2
135	Espesador de Concentrados N° 2
136	Bomba Galigher Espesador N° 2
137	Cajon de paso 4
138	Filtro de Discos
139	Faja de carguio filtro de discos
140	Tanque de Compresión Filtro de discos
141	Bomba de vacio (700 cfm) filtro de discos
142	Bomba de vacio (1000 cfm) filtro de discos
143	Muestreador automático 2 (relaves)
144	Bombas de Relave Warman principal (2 unid)
145	Espesador de Relaves Hite Rite 25m
146	Sistema de Transporte de Relaves
147	Bombas de Relave Warman stand by (2 unid)
148	Válvula Hidrociclón 1
149	Hidrociclón Relave 1
150	Válvula Hidrociclón 2
151	Hidrociclón Relave 2
152	Válvula Hidrociclón 3
153	Hidrociclón Relave 3
154	Válvula Hidrociclón 4
155	Hidrociclón Relave 4
156	Válvula Hidrociclón 5
157	Hidrociclón Relave 5
158	Bomba 1 Punto de Recuperación N° 2
159	Poza de Recuperación de Agua
160	Bomba 1 Cocha de recuperación de Agua
161	Bomba 2 Cocha de recuperación de Agua
162	Tanque de Agua Recuperada N° 1
163	Bomba 1 Punto de Recuperación N° 3
164	Planta de preparación de Feculante
165	Bomba pozo hacienda N° 5
166	Bomba pozo hacienda N° 3
167	Bomba pozo hacienda N° 1
168	Tanque 150m3
169	Bomba 1 Tanque 150m3
170	Bomba 2 Tanque 150 m3
171	Bomba pozo hacienda N° 2
172	Tanque 40m3
173	Bomba 1 Tanque 40m3
174	Bomba 2 Tanque 40m3
175	Estación de Bombeo costado de relavera. Tanque 150m3
176	Bomba 1 Estación de bombeo
177	Bomba 2 Estación de bombeo
178	Tanque de agua limpia N°2
179	Sistema DSS
180	Colectores e insertables de Polvo (Chancado)
181	Compresoras de aire
182	Grúa Puente (25 y 10 toneladas)

**Fuente: Elaboración propia**

## 2. Codificación de equipos

Luego de listar los equipos, se codifico los equipos en función de Iso sistemas a los que pertenecían ya que actualmente no se tiene equipos debidamente codificados.

El criterio utilizado consistió en agrupar los equipos por subsistema y colocar 4 letras iniciales que identifiquen al subsistema luego el correlativo de 3 dígitos que en este caso iniciara con 001 terminara en 182, debido a que es la cantidad de equipos con lo que se cuenta.

Asi como se muestra a continuación en los siguientes cuadros:

**Cuadro N° 23: Codificación de equipos de CMC S.A.A. -1**

SUBSISTEMA	N°	NOMBRE DEL EQUIPO	SUBSISTEMA	CORRELATIVO	CODIGO
Chancado Primario	1	Rompedor de Bancos	CHAP	001	CHAP-001
	2	Apron Feeder	CHAP	002	CHAP-002
	3	Grizzly Vibratorio Chancadora SANDVIK	CHAP	003	CHAP-003
	4	Chancadora SANDVIK	CHAP	004	CHAP-004
	5	Faja N° 1' de Descarga	CHAP	005	CHAP-005
Chancado Primario Standby	6	Faja de alimentación N° 1C	CHAP	006	CHAP-006
	7	Grizzly vibrat. Chancadora Metso	CHPS	007	CHPS-007
	8	Faja de alimentación N° 1A	CHPS	008	CHPS-008
	9	Faja de alimentación N° 1B	CHPS	009	CHPS-009
	10	Faja de alimentación N° 1	CHPS	010	CHPS-010
Chancado Secundario	11	Stock pile	CHPS	011	CHPS-011
	12	Faja de alimentación A	CHAS	012	CHAS-012
	13	Faja de alimentación B	CHAS	013	CHAS-013
	14	Faja de alimentación C	CHAS	014	CHAS-014
	15	Faja de alimentación D	CHAS	015	CHAS-015
Chancado terciario	16	Faja de alimentación 1D	CHAS	016	CHAS-016
	17	Chancadora HP-500	CHAS	017	CHAS-017
	18	Faja de alimentación N° 1E	CHAS	018	CHAS-018
	19	Faja de alimentación N° 1F	CHAT	019	CHAT-019
	20	Zaranda vibratoria N°5	CHAT	020	CHAT-020
Chancado cuaternario	21	Chancadora HP-400 N°5	CHAT	021	CHAT-021
	22	Faja N° 3A	CHAT	022	CHAT-022
	23	Faja de alimentación N° 3	CHAT	023	CHAT-023
	24	Faja de alimentación N° 4	CHAC	024	CHAC-024
	25	Faja de alimentación N° 4A	CHAC	025	CHAC-025
	26	Tolvas de transferencias de Zarandas	CHAC	026	CHAC-026
	27	Faja de alimentación zaranda 2	CHAC	027	CHAC-027
	28	Faja de alimentación zaranda 1	CHAC	028	CHAC-028
	29	Faja de alimentación zaranda 3	CHAC	029	CHAC-029
	30	Faja de alimentación zaranda 4	CHAC	030	CHAC-030
	31	Zaranda Vibratoria N°2	CHAC	031	CHAC-031
	32	Zaranda Vibratoria N°1	CHAC	032	CHAC-032
	33	Zaranda Vibratoria N°3	CHAC	033	CHAC-033
	34	Zaranda Vibratoria N°4	CHAC	034	CHAC-034
	35	Faja de alimentación N° 8	CHAC	035	CHAC-035
	36	Faja de alimentación N° 9	CHAC	036	CHAC-036
	37	Faja de alimentación N° 10	CHAC	037	CHAC-037
	38	Faja de alimentación N° 11	CHAC	038	CHAC-038
	39	Faja de alimentación N° 12	CHAC	039	CHAC-039
	40	Faja de alimentación N° 13	CHAC	040	CHAC-040
	41	Faja de alimentación N° 14	CHAC	041	CHAC-041
	42	Faja de alimentación N° 15	CHAC	042	CHAC-042
	43	Faja de alimentación N° 5	CHAC	043	CHAC-043
	44	Faja de alimentación N° 6	CHAC	044	CHAC-044
	45	Faja de alimentación N°6A	CHAC	045	CHAC-045
	46	Faja de alimentación N°6B	CHAC	046	CHAC-046
	47	Faja de alimentación N°6C	CHAC	047	CHAC-047
	48	Faja alimentadora HP N° 4	CHAC	048	CHAC-048
	49	Chancadora HP-400 N°4	CHAC	049	CHAC-049
	50	Faja de descarga (FDC) Chancadora N°4	CHAC	050	CHAC-050
	51	Faja alimentadora HP N° 2	CHAC	051	CHAC-051
	52	Chancadora HP-400 N°2	CHAC	052	CHAC-052
	53	Faja de descarga (FDC) Chancadora N°2	CHAC	053	CHAC-053
	54	Faja alimentadora HP N° 1	CHAC	054	CHAC-054
	55	Chancadora HP-400 N°1	CHAC	055	CHAC-055
	56	Faja de descarga (FDC) Chancadora N°1	CHAC	056	CHAC-056
	57	Faja alimentadora HP N° 3	CHAC	057	CHAC-057
	58	Chancadora HP-400 N°3	CHAC	058	CHAC-058
	59	Faja de descarga (FDC) Chancadora N°3	CHAC	059	CHAC-059
	60	Faja con Balanza alimentadora Molino N°3	CHAC	060	CHAC-060

**Fuente: Elaboración propia**

**Cuadro N° 24: Codificación de equipos de CMC S.A.A. -2**

SUBSISTEMA	N°	NOMBRE DEL EQUIPO	SUBSITEMA	CORRELATIVO	CODIGO
Molienda	61	Molino N°3	MOLI	001	MOLI-001
	62	Bomba 1 Molino N°3	MOLI	002	MOLI-002
	63	Bomba 2 Molino N°3	MOLI	003	MOLI-003
	64	Zaranda de Alta Frecuencia N°7 - Molino N°3	MOLI	004	MOLI-004
	65	Faja Balanza alimentadora Molino N°2	MOLI	005	MOLI-005
	66	Molino N°2	MOLI	006	MOLI-006
	67	Bomba 1 Molino N°2	MOLI	007	MOLI-007
	68	Bomba 2 Molino N°2	MOLI	008	MOLI-008
	69	Faja Balanza alimentadora Molino N°4	MOLI	009	MOLI-009
	70	Molino N°4	MOLI	010	MOLI-010
	71	Bomba 1 Molino N°4	MOLI	011	MOLI-011
	72	Bomba 2 Molino N°4	MOLI	012	MOLI-012
	73	Zaranda de Alta Frecuencia N°1 - Molino N°4	MOLI	013	MOLI-013
	74	Faja Balanza alimentadora Molino N°5	MOLI	014	MOLI-014
	75	Molino N°5	MOLI	015	MOLI-015
	76	Bomba 1 Molino N°5	MOLI	016	MOLI-016
	77	Bomba 2 Molino N°5	MOLI	017	MOLI-017
	78	Hidrociclón D-26 Molino N°5	MOLI	018	MOLI-018
	79	Zaranda de Alta Frecuencia N°2 - Molino N°5	MOLI	019	MOLI-019
	80	Faja Balanza alimentadora Molino N°6	MOLI	020	MOLI-020
	81	Molino N°6	MOLI	021	MOLI-021
	82	Bomba 1 Molino N°6	MOLI	022	MOLI-022
	83	Bomba 2 Molino N°6	MOLI	023	MOLI-023
	84	Hidrociclón D-26 Molino N°6	MOLI	024	MOLI-024
	85	Zaranda de Alta Frecuencia N°3 - Molino N°6	MOLI	025	MOLI-025
	86	Faja Balanza alimentadora Molino N°7	MOLI	026	MOLI-026
	87	Molino N°7	MOLI	027	MOLI-027
	88	Bomba 1 Molino N°7	MOLI	028	MOLI-028
	89	Bomba 2 Molino N°7	MOLI	029	MOLI-029
	90	Bomba 2 Molino N°7	MOLI	030	MOLI-030
	91	Zaranda de Alta Frecuencia N°5 - Molino N°7	MOLI	031	MOLI-031
	92	Zaranda de Alta Frecuencia N°4 - Molino N°7	MOLI	032	MOLI-032
	93	Zaranda de Alta Frecuencia N°6 - Molino N°7	MOLI	033	MOLI-033
Flotación	94	Muestreador automático 1 (cabeza)	FLOT	001	FLOT-001
	95	Banco de 04 celdas OK- 38 ROUGHER	FLOT	002	FLOT-002
	96	Celdas OK-38 (circuito scavenger - 04 unid)	FLOT	003	FLOT-003
	97	Banco de 04 celdas OK - 38 scavenger 2	FLOT	004	FLOT-004
	98	Cajon de Paso 1	FLOT	005	FLOT-005
	99	Celdas wemco (circuito scavenger - 04 unid - banco 1)	FLOT	006	FLOT-006
	100	Celdas wemco (Circuito scavenger - 04 unid - banco 2)	FLOT	007	FLOT-007
	101	Celdas wemco (Circuito scavenger - 06 unid - banco 3)	FLOT	008	FLOT-008
	102	Cajon de paso 2	FLOT	009	FLOT-009
	103	Celdas wemco (Circuito cleaner - 03 unid - banco 1)	FLOT	010	FLOT-010
	104	Bomba vertical denver cleaner banco 1	FLOT	011	FLOT-011
	105	Celdas wemco (Circuito cleaner - 04 unid - banco 2)	FLOT	012	FLOT-012
	106	Bomba vertical denver cleaner banco 2	FLOT	013	FLOT-013
	107	Celdas Denver (Circuito cleaner - 06 unid - banco 1)	FLOT	014	FLOT-014
	108	Bomba vertical denver cleaner banco 3	FLOT	015	FLOT-015
	109	Celdas Denver (Circuito cleaner - 10 unid - banco 2)	FLOT	016	FLOT-016
	110	Celdas Denver (Circuito cleaner - 06 unid - banco 3)	FLOT	017	FLOT-017
	111	Bomba vertical wemco cleaner	FLOT	018	FLOT-018
	112	Bomba vertical de medios	FLOT	019	FLOT-019
	113	Bomba Galigher 1 de medios	FLOT	020	FLOT-020
	114	Bomba Galigher 2 de medios	FLOT	021	FLOT-021
	115	Bomba Galigher 3 de medios	FLOT	022	FLOT-022
	116	Molino N°1	FLOT	023	FLOT-023
	117	Bomba Molino N°1	FLOT	024	FLOT-024
	118	Nido de Hidrociclones D-10 (8 unid)	FLOT	025	FLOT-025
	119	Celda OK 20	FLOT	026	FLOT-026
	120	Sopladores SPENCER (x2)	FLOT	027	FLOT-027
	121	Sopladores AIRTEC (x2)	FLOT	028	FLOT-028

**Fuente: Elaboración propia**



**Cuadro N° 25: Codificación de equipos de CMC S.A.A. -3**

SUBSISTEMA	N°	NOMBRE DEL EQUIPO	SUBSISTEMA	CORRELATIVO	CODIGO
Espesamiento y filtrado de concentrados	122	Muestreador Automático 3 (concentrado)	FLOT	029	FLOT-029
	123	Espesador de Concentrados N° 1	FLOT	030	FLOT-030
	124	Bomba Galigher Espesador N° 1	FLOT	031	FLOT-031
	125	Cajon de paso 3	FLOT	032	FLOT-032
	126	Filtro de Tambor N° 1	FLOT	033	FLOT-033
	127	Tanque de Compresión Filtro de Tambor N° 1	FLOT	034	FLOT-034
	128	Bomba de vacio (700 cfm) filtro de tambor N° 1	FLOT	035	FLOT-035
	129	Bomba de vacio (1000 cfm) filtro de tambor N° 1	FLOT	036	FLOT-036
	130	Filtro de Tambor N° 2	FLOT	037	FLOT-037
	131	Faja de carguio filtros de tambores	FLOT	038	FLOT-038
	132	Tanque de compresión Filtro de Tambor N° 2	FLOT	039	FLOT-039
	133	Bomba de vacio (700 cfm) filtro de tambor N° 2	FLOT	040	FLOT-040
	134	Bomba de vacio (1000 cfm) filtro de tambor N° 2	FLOT	041	FLOT-041
	135	Espesador de Concentrados N° 2	FLOT	042	FLOT-042
	136	Bomba Galigher Espesador N° 2	FLOT	043	FLOT-043
	137	Cajon de paso 4	FLOT	044	FLOT-044
	138	Filtro de Discos	FLOT	045	FLOT-045
	139	Faja de carguio filtro de discos	FLOT	046	FLOT-046
	140	Tanque de Compresión Filtro de discos	FLOT	047	FLOT-047
	141	Bomba de vacio (700 cfm) filtro de discos	FLOT	048	FLOT-048
	142	Bomba de vacio (1000 cfm) filtro de discos	FLOT	049	FLOT-049
Espesamiento de Relaves	143	Muestreador automático 2 (relaves)	ESPE	001	ESPE-001
	144	Bombas de Relave Warman principal (2 unid)	ESPE	002	ESPE-002
	145	Espesador de Relaves Hite Rite 25m	ESPE	003	ESPE-003
	146	Sistema de Transporte de Relaves	ESPE	004	ESPE-004
	147	Bombas de Relave Warman stand by (2 unid)	ESPE	005	ESPE-005
	148	Válvula Hidrociclón 1	ESPE	006	ESPE-006
	149	Hidrociclón Relave 1	ESPE	007	ESPE-007
	150	Válvula Hidrociclón 2	ESPE	008	ESPE-008
	151	Hidrociclón Relave 2	ESPE	009	ESPE-009
	152	Válvula Hidrociclón 3	ESPE	010	ESPE-010
	153	Hidrociclón Relave 3	ESPE	011	ESPE-011
	154	Válvula Hidrociclón 4	ESPE	012	ESPE-012
	155	Hidrociclón Relave 4	ESPE	013	ESPE-013
	156	Válvula Hidrociclón 5	ESPE	014	ESPE-014
	157	Hidrociclón Relave 5	ESPE	015	ESPE-015
	158	Bomba 1 Punto de Recuperación N° 2	ESPE	016	ESPE-016
	159	Pozo de Recuperación de Agua	ESPE	017	ESPE-017
	160	Bomba 1 Cocha de recuperación de Agua	ESPE	018	ESPE-018
	161	Bomba 2 Cocha de recuperación de Agua	ESPE	019	ESPE-019
	162	Tanque de Agua Recuperada N° 1	ESPE	020	ESPE-020
	163	Bomba 1 Punto de Recuperación N° 3	ESPE	021	ESPE-021
Preparación de Feculante	164	Planta de preparación de Feculante	PFLO	001	PFLO-001
Abastecimiento de Agua	165	Bomba pozo hacienda N° 5	ABAS	001	ABAS-001
	166	Bomba pozo hacienda N° 3	ABAS	002	ABAS-002
	167	Bomba pozo hacienda N° 1	ABAS	003	ABAS-003
	168	Tanque 150m3	ABAS	004	ABAS-004
	169	Bomba 1 Tanque 150m3	ABAS	005	ABAS-005
	170	Bomba 2 Tanque 150 m3	ABAS	006	ABAS-006
	171	Bomba pozo hacienda N° 2	ABAS	007	ABAS-007
	172	Tanque 40m3	ABAS	008	ABAS-008
	173	Bomba 1 Tanque 40m3	ABAS	009	ABAS-009
	174	Bomba 2 Tanque 40m3	ABAS	010	ABAS-010
	175	Estación de Bombeo costado de relavera. Tanque	ABAS	011	ABAS-011
	176	Bomba 1 Estación de bombeo	ABAS	012	ABAS-012
	177	Bomba 2 Estación de bombeo	ABAS	013	ABAS-013
	178	Tanque de agua limpia N°2	ABAS	014	ABAS-014
Otros	179	Sistema DSS	OTRO	001	OTRO-001
	180	Colectores e insertables de Polvo (Chancado)	OTRO	002	OTRO-002
	181	Compresoras de aire	OTRO	003	OTRO-003
	182	Grúa Puente (25 y 10 toneladas)	OTRO	004	OTRO-004

**Fuente: Elaboración propia**

### **3. Analizar los equipos críticos**

Para la compañía minera los equipos críticos, son los equipos Chancado y Molienda, ya que estos son los equipos que se encargan del procesamiento de mineral y en base a los cuales se planifican la disponibilidad meta de procesamiento que debe tener la compañía minera.

Además en la última auditoría externa de Mantenimiento del año 2015 se detectó que no se tenía una matriz para evaluar la criticidad de los equipos, es por ello que se planteó una matriz para determinar la criticidad de los 182 equipos.

Esta Matriz evalúa la criticidad en base a los siguientes criterios:

a) Severidad:

1. Calidad
2. Costos
3. Atención
4. Medio Ambiente
5. Seguridad

b) Ocurrencia

c) Gravedad

d) Complejidad

1. Complejidad Tecnológica
2. Material
3. Logística

Cabe mencionar que esta matriz es llenada por personal del área de operaciones, mantenimiento y logística.

A continuación en el cuadro N°, se muestra la matriz de criticidad descrito anteriormente:

**Cuadro N° 26: Matriz de criticidad de los equipos**

MATRIZ DE CRITICIDAD																				
CONSIDERACIONES DE LLENADO Y MÉTODO DE CÁLCULO DE PRIORIZACIÓN DE CRITICIDAD																				
	CRITERIOS DE SEVERIDAD										GRAVEDAD (G)		OCURRENCIA (O)		CRITERIOS DE COMPLEJIDAD					
	CALIDAD (Q)		COSTOS (C )		ATENCIÓN (A)		MEDIO AMBIENTE (MA)		SEGURIDAD (S)						COMPLEJIDAD TECNOLÓGICA (T)		MATERIAL (M)		LOGÍSTICA (L)	
DESCRIPCIÓN	Efectos de la indisponibilidad del equipo sobre la calidad del producto		Costo anual de mantenimiento del equipo (soles)		Disponibilidad necesaria del equipo para el cumplimiento de los planes de producción		Efectos de la indisponibilidad del equipo sobre el medio ambiente		Efectos de la indisponibilidad del equipo sobre la seguridad personal y patrimonial		Valor del impacto generado a partir de la indisponibilidad del equipo en cuanto a la paralización de otras unidades de producción asociadas y/o implicaciones para la restauración de la operación.		Tasa de ocurrencia de paradas del equipo a lo largo de su vida útil		Valor o grado de dificultad para el mantenimiento en función de la tecnología / Know-How y/o obsolescencia específica del equipo		Valor del impacto generado a partir de la indisponibilidad del equipo en cuanto al grado de dificultad asociado a la obtención de piezas sobresalientes en en Mantenimiento		Valor del impacto generado a partir de la indisponibilidad del equipo en cuanto a la dificultad de mantenimiento debido al acceso de colocación de recursos logísticos necesarios para la intervención (stock)	
ÁREA RESPONSABLE	Operaciones		Mantenimiento		Operaciones		Operaciones		Operaciones + Mantenimiento		Operaciones		Mantenimiento		Mantenimiento		Mantenimiento		Logística	
LINEAMIENTOS DE CALIFICACIÓN	6	Crítico para la calidad de los productos	6	Elevado	6	Alta Disponibilidad necesaria	6	La indisponibilidad del equipo acarrearía un impacto catastrófico, sujeto a sanciones legales y/o efectos negativos a la imagen de la empresa.	6	La indisponibilidad del equipo podría acarrear daños catastróficos y/o accidentes en masa.	6	Alta	6	Alta	6	Alta	6	Alta	6	Alta
	5		5		5		5		5		5		5		5					
	4	Afecta la calidad de los productos	4	Moderado	4	Moderada Disponibilidad necesaria	4	La indisponibilidad del equipo acarrearía un impacto moderado requiriendo acciones correctivas inmediatas y/o de medio plazo.	4	La indisponibilidad del equipo podría acarrear daños a los activos y/o lesiones a personas.	4	Media	4	Media	4	Media	4	Media		
	3		3		3		3		3		3		3		3					
	2	No causa impacto en la calidad de los productos	2	Bajo	2	Baja Disponibilidad necesaria	2	La indisponibilidad del equipo no terminará en impacto ambiental.	2	La indisponibilidad del equipo no tiene ningún impacto sobre la seguridad personal y/o patrimonial.	2	Baja	2	Baja	2	Baja	2	Baja	2	Baja
	1		1		1		1		1		1		1		1					
CRITERIOS DE ASIGNACIÓN DE NIVEL DE CRITICIDAD	Factor de Priorización de Criticidad del Equipo (FPCE):  $FPCE = \frac{(2.5)Q + (10)C + (22.5)A + (2.5)MA + (12.5)S + (20)G + (17.5)O + (2.5)T + (5)M + (5)L}{100}$ Donde: Q = Calidad; C = Costo; A = Atención; MA = Medio Ambiente; S= Seguridad; G = Gravedad; O = Ocurrencia; T = Tecnología; M = Material; L = Logística										Determinación de Criticidad:  Criticidad Alta (Clase A) = FPCE de 4.34 o más Criticidad Media (Clase B) = FPCE entre 2.67 y 4.33 Criticidad Baja (Clase C) = FPCE entre 1 y 2.66									

**Fuente: C.M.C. S.A.A.**

A continuación se muestra una parte de la evaluación de criticidad realizada de los 182 equipos:

**Cuadro N° 27: Evaluación de la criticidad de los equipos**

SUBSISTEMA	N°	NOMBRE DEL EQUIPO	CODIGO	CRITERIOS DE SEVERIDAD					GRAVEDAD (G)	OCURRENCIA (O)	CRITERIOS DE COMPLEJIDAD			FPCE	NIVEL DE CRITICIDAD
				CALIDAD (Q)	COSTOS (C)	ATENCIÓN (A)	MEDIO AMBIENTE (MA)	SEGURIDAD (S) (Oper + Mantto)			COMPLEJIDAD TECNOLÓGICA (T)	MATERIAL (M)	LOGÍSTICA (L)		
				Efectos de la indisponibilidad del equipo sobre la calidad del producto	Costo anual de mantenimiento del equipo (soles)	Disponibilidad necesaria del equipo para el cumplimiento de los planes de producción	Efectos de la indisponibilidad del equipo sobre el medio ambiente	Efectos de la indisponibilidad del equipo sobre la seguridad personal y patrimonial			Valor o grado de dificultad para el mantenimiento en función de la tecnología / Know-How y/o obsolescencia específica del equipo	Valor del impacto generado a partir de la indisponibilidad del equipo en cuanto al grado de dificultad asociado a la obtención de piezas sobresalientes en la Manutención.	Valor del impacto generado a partir de la indisponibilidad del equipo en cuanto a la dificultad de mantenimiento debido al acceso de colocación de recursos logísticos necesarios para la intervención (stock)		
				Operaciones	Mantenimiento	Operaciones	Operaciones	Operaciones + Mantenimiento			Mantenimiento	Mantenimiento	Logística		
				2.50%	10.00%	22.50%	2.50%	12.50%			2.50%	5.00%	5.00%		
Chancado Primario	1	Rompedor de Bancos	CHAP-001	1	5	4	1	6	4	4	2	4	4	4.15	Criticidad Media (B)
Chancado Primario	2	Apron Feeder	CHAP-002	1	3	6	1	6	6	1	4	1	4	4.175	Criticidad Media (B)
Chancado Primario	3	Grizzly Vibratorio Chancadora SANDVIK	CHAP-003	1	3	6	1	6	6	4	4	2	4	4.75	Criticidad Alta (A)
Chancado Primario	4	Chancadora SANDVIK	CHAP-004	1	3	6	1	6	6	4	4	2	3	4.7	Criticidad Alta (A)
Chancado Primario	5	Faja N° 1' de Descarga	CHAP-005	1	3	6	1	6	6	2	3	2	3	4.325	Criticidad Media (B)
Chancado Primario	6	Faja de alimentación N° 1C	CHAP-006	1	1	3	6	1	6	6	4	3	2	3.675	Criticidad Media (B)
Chancado Primario Standby	7	Grizzly vibrat. Chancadora Metso	CHPS-007	1	2	5	1	3	6	1	2	3	4	3.525	Criticidad Media (B)
Chancado Primario Standby	8	Faja de alimentación N° 1A	CHPS-008	1	6	6	1	3	6	2	5	5	5	4.55	Criticidad Alta (A)
Chancado Primario Standby	9	Faja de alimentación N° 1B	CHPS-009	1	1	5	1	3	6	1	1	2	4	3.35	Criticidad Media (B)
Chancado Primario Standby	10	Faja de alimentación N° 1	CHPS-010	1	1	5	1	3	6	1	1	2	4	3.35	Criticidad Media (B)
Chancado Primario Standby	11	Stock pile	CHPS-011	1	1	5	1	3	6	1	1	2	4	3.35	Criticidad Media (B)
Chancado Secundario	12	Faja de alimentación A	CHAS-012	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica	0	NO APLICA

Fuente: C.M.C. S.A.A.

Luego de la evaluación de los 182 equipos se determinó que los equipos críticos eran 14. Así como se muestra en el siguiente cuadro de resultados de la evaluación de criticidad.

**Cuadro N° 28: Resultados de la evaluación de la criticidad**

CLASIFICACIÓN	RANGO	N° DE EQUIPOS
Criticidad Alta (A)	FPCE de 4.34 o más	14
Criticidad Media (B)	FPCE entre 2.67 y 4.33	125
Criticidad Baja (C)	FPCE entre 1 y 2.66	28
	NO APLICA	15
	<b>TOTAL</b>	<b>182</b>

**Fuente: Elaboración propia**

Cabe mencionar que los equipos críticos como ya se mencionó anteriormente fueron los equipos de Molienda y Chancado los cuales detallo a continuación:

**Cuadro N° 29: Equipos críticos**

MATRIZ DE CRITICIDAD					
SUBSISTEM A	N°	NOMBRE DEL EQUIPO	CODIGO	FPCE	NIVEL DE CRITICIDAD
Chancado Primario	4	Chancadora SANDVIK	CHAP-004	4.875	Criticidad Alta (A)
Chancado Secundario	17	Chancadora HP-500	CHAS-017	4.875	Criticidad Alta (A)
Chancado terciario	21	Chancadora HP-400 N°5	CHAT-021	4.875	Criticidad Alta (A)
Chancado cuaternario	49	Chancadora HP-400 N°4	CHAC-049	4.875	Criticidad Alta (A)
Chancado cuaternario	52	Chancadora HP-400 N°2	CHAC-052	4.875	Criticidad Alta (A)
Chancado cuaternario	55	Chancadora HP-400 N°1	CHAC-055	4.875	Criticidad Alta (A)
Chancado cuaternario	58	Chancadora HP-400 N°3	CHAC-058	4.875	Criticidad Alta (A)
Molienda	61	Molino N°3	MOLI-001	4.35	Criticidad Alta (A)
Molienda	66	Molino N°2	MOLI-006	4.35	Criticidad Alta (A)
Molienda	70	Molino N°4	MOLI-010	4.45	Criticidad Alta (A)
Molienda	75	Molino N°5	MOLI-015	4.35	Criticidad Alta (A)
Molienda	81	Molino N°6	MOLI-021	4.35	Criticidad Alta (A)
Molienda	87	Molino N°7	MOLI-027	4.35	Criticidad Alta (A)
Molienda	116	Molino N°1	FLOT-023	4.35	Criticidad Alta (A)

**Fuente: Elaboración propia**

Luego de que se determinaron los equipos críticos, se procedió a determinar los indicadores actuales de esto equipos

#### 4. Indicadores de mantenimiento de los equipos críticos

En el año 2015 se obtuvo los siguientes indicadores, que se muestra en el siguiente cuadro

**Cuadro N° 30: Indicadores actuales de mantenimiento de los equipos críticos**

SUBSISTEMA	NOMBRE DEL EQUIPO	NIVEL DE CRITICIDAD	Horas				INDICADORES		
			Trabajadas	Paradas	Disponibles	N Paradas	MTBF(H)	MTTR(H)	DISPONIBILIDAD
CHANCADO	HP500	Criticidad Alta (A)	8342	418	8760	135.00	61.79	3.10	95.19%
	HP400 N° 05	Criticidad Alta (A)	8262	498	8760	147.00	56.20	3.39	94.28%
	HP400 N° 01	Criticidad Alta (A)	8188	572	8760	158.00	51.82	3.62	93.43%
	HP400 N° 02	Criticidad Alta (A)	8134	626	8760	164.00	49.60	3.82	92.84%
	HP400 N° 03	Criticidad Alta (A)	8288	472	8760	137.00	60.50	3.44	94.57%
	HP400 N° 04	Criticidad Alta (A)	8081	679	8760	157.00	51.47	4.32	92.25%
	CH. SANDVIK	Criticidad Alta (A)	8311	449	8760	95.00	87.48	4.73	94.87%
	TOTAL		8230	3713	8760	993.00	59.84	3.77	0.9392
MOLIENDA	MOLINO N° 07	Criticidad Alta (A)	8315	445	8760	94.00	88.45	4.74	94.90%
	MOLINO N° 06	Criticidad Alta (A)	8288	472	8760	83.00	99.86	5.68	94.61%
	MOLINO N° 05	Criticidad Alta (A)	8246	514	8760	85.00	97.01	6.04	94.13%
	MOLINO N° 04	Criticidad Alta (A)	8044	716	8760	98.00	82.08	7.31	91.82%
	MOLINO N° 03	Criticidad Alta (A)	8164	596	8760	89.00	91.73	6.70	93.17%
	MOLINO N° 02	Criticidad Alta (A)	8173	587	8760	91.00	89.82	6.45	93.27%
	MOLINO N° 01	Criticidad Alta (A)	8334	426	8760	67.00	124.38	6.36	95.13%
	TOTAL		8227	3756	8760	607.00	76.80	4.90	94.16%

**Fuente: Elaboración propia**

Como se puede ver en el cuadro N° 25, en el año 2015 la empresa obtuvo en promedio una disponibilidad de 93.92% en los equipos de chancado y 94.16% para los equipos de molienda.

Cabe mencionar que dentro de las horas paradas está el tiempo por mantenimiento correctivo y el tiempo mantenimiento preventivo.

## 5. Análisis de las fallas de los equipos críticos

Para determinar cuáles deben ser las técnicas predictivas a emplear en los equipos críticos, se debe realizar primero un análisis de las fallas de los equipos críticos que como ya se mencionó anteriormente son las chancadoras y molinos.

**A. CHANCADORAS:** Durante el año 2015 se obtuvo las siguientes fallas:

**Cuadro N° 31: Fallas de los chancadoras - 2015**

N°	Descripción de la falla	Tiempo unitario	N° Veces	Hrs.	% Acum.	%	CLC
1	Pistones desgastados	15	9	130.50	10%	9.8%	\$1,778,079
2	Arrancador Sofstarter averiado	10	10	95.00	17%	7.2%	\$1,294,387
3	Rotura de la base del motor	8	9	72.00	22%	5.4%	\$981,009
4	Fisura de anillo de ajuste	12	5	60.00	27%	4.5%	\$817,508
5	Rotura de piston	8	6	50.40	31%	3.8%	\$686,706
6	Switch de cierre quemado	5	9	48.60	34%	3.7%	\$662,181
7	Rajadura de soldadura de piñon de motor de cierre	16	3	48.00	38%	3.6%	\$654,006
8	Rotura de base de la bomba	4	10	43.00	41%	3.2%	\$585,880
9	rajadura de la bomba de lubricación	7	6	42.00	44%	3.2%	\$572,255
10	Motor sobrecargado	6	7	42.00	48%	3.2%	\$572,255
11	Pernos de la base flojos	6	7	42.00	51%	3.2%	\$572,255
12	Fajas flojas	5	9	40.50	54%	3.1%	\$551,818
13	Fuga de aceite en bomba	5	7	36.75	57%	2.8%	\$500,723
14	Fisura en Manframe	9	4	36.00	59%	2.7%	\$490,505
15	Switch quemado	7	5	35.00	62%	2.6%	\$476,879
16	Contactor quemado	2	17	34.00	64%	2.6%	\$463,254
17	Fuga de aceite de acumulador	4	8	32.00	67%	2.4%	\$436,004
18	Fuga de aceite	1	25	31.25	69%	2.4%	\$425,785
19	Rotura de bocina	4	8	30.00	71%	2.3%	\$408,754
20	Faja alimentadora patinó	2	12	27.00	74%	2.0%	\$367,878
21	Cable recalentado	8	3	24.90	75%	1.9%	\$339,266
22	Rajadura de revestimiento Bowl Liner	5	5	24.00	77%	1.8%	\$327,003
23	Piñon de motor fundido	4	6	24.00	79%	1.8%	\$327,003
24	Rodamientos fundidos	8	3	24.00	81%	1.8%	\$327,003
25	Rotura de bocina inferior Head	1	18	23.40	83%	1.8%	\$318,828
26	Fuga de aceite en manguera	4	6	22.50	84%	1.7%	\$306,565
27	motor de cierre no prende	7	3	22.20	86%	1.7%	\$302,478
28	Rotura de dientes de catalina de ajuste setting	7	3	19.80	87%	1.5%	\$269,778
29	Centrador de carga desviado	1	15	18.75	89%	1.4%	\$255,471
30	Perno roto en base de motor electrico	5	4	18.40	90%	1.4%	\$250,702
31	Desgaste de forros Mantle	1	15	18.00	92%	1.4%	\$245,252
32	Rele quemado	1	18	18.00	93%	1.4%	\$245,252
33	Parado por amperaje alto	2	7	14.00	94%	1.1%	\$190,764
34	Fajas desgastadas	1	18	13.50	95%	1.0%	\$183,939
35	Fuga de aceite	1	16	12.00	96%	0.9%	\$163,502
36	Pernos flojos en base de Mainframe	4	3	12.00	97%	0.9%	\$163,502
37	Baja presión sistema hidraulico	4	3	12.00	98%	0.9%	\$163,502
38	Rotura de correas transmisión	1	16	8.00	98%	0.6%	\$109,001
39	Transformador quemado	2	5	7.50	99%	0.6%	\$102,188
40	Problemas con montaje de chancadora	0	25	6.25	99%	0.5%	\$85,157
41	Rotura de platina de bronce	0.3	18	4.50	100%	0.3%	\$61,313
42	Rajadura de la soldadura del anillo de ajuste	0	12	3.60	100%	0.3%	\$49,050
<b>Total</b>		<b>19</b>	<b>398</b>	<b>1327.30</b>		<b>100%</b>	<b>\$18,084,643</b>

**Fuente: Elaboración propia**

Adicional a ello se realizó un cuadro en el que se muestra las fallas con su respectiva solución, el tipo de equipo predictivo y análisis que se debe realizar en las chancadoras para poder detectar los parámetros que nos indiquen que un pieza esta por fallar. También en el gráfico N° 18 se procedió a realizar un diagrama de Pareto para hallas las fallas críticas.

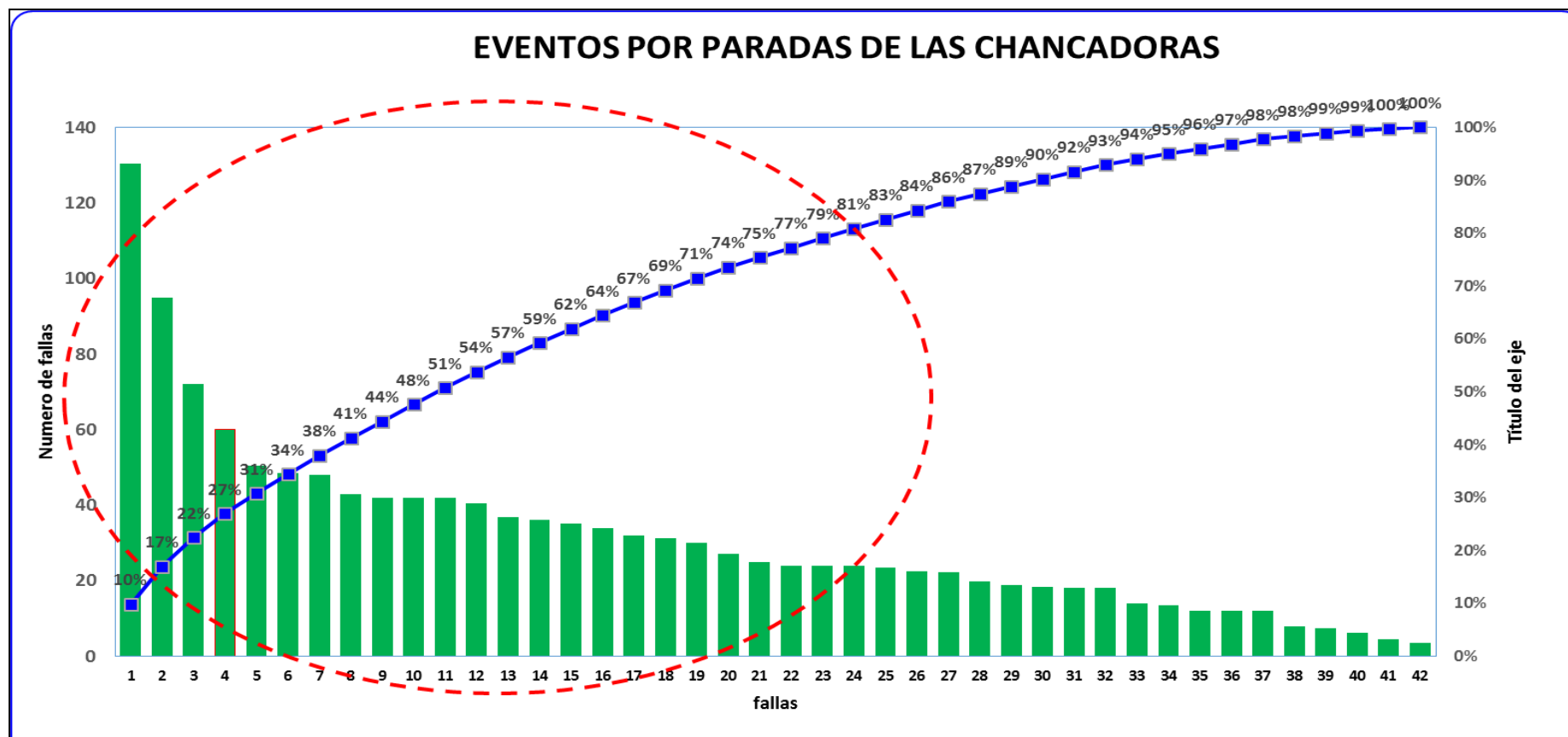
**Cuadro N° 32: Técnicas y equipos predictivos a usar para cada falla de las chancadoras**

N°	Falla	Solución	Equipo	Análisis
1	Rotura de platina de bronce	Cambio de platina de bronce	Fisurometro	Detector de fisuras
2	Rotura de bocina	Cambio de bocina	Detector de grietas	Detector de grietas
3	Fuga de aceite en manguera	Cambio de manguera de la unidad hidráulica	Detector de fugas	Detector de fugas
4	Rajadura de la soldadura del anillo de ajuste	Reparación por soldadura del anillo de ajuste	kit de Líquidos penetrantes	Rajadura de soldadura
5	Desgaste de forros Mantle	Cambio de forro mantle ( problemas con bocina inferior)	Medidor de corrosión	Estado de corrosión
6	Rotura de bocina inferior Head	Instalación de bocina inferior de head para hp400	Detector de grietas	Detector de grietas
7	Rajadura de revestimiento Bowl Liner	Cambio de revestimiento bowl liner ( metso )	kit de Líquidos penetrantes	Rajadura de soldadura
8	Contactador quemado	Cambio de contactor provisional	Termógrafo	Integridad de asilación, cableado y componentes electricos
9	Rele quemado	Reparación de rele de tablero arrancador	Termógrafo	Integridad de asilación, cableado y componentes electricos
10	rajadura de la bomba de lubricación	Cambio de bomba de consola de lubricación	Fisurometro	Detector de fisuras
11	Motor sobrecargado	Cambio de motor eléctrico o/c 6013	Termógrafo	Integridad de asilación, cableado y componentes electricos
12	Rotura de piston	Cambio de pistón de levante	Vibrometro	Analisis de vibraciones
13	Centrador de carga desviado	Cambio de centrador de carga(hechizo)	Vibrometro	Analisis de vibraciones
14	Fuga de aceite	Cambio de válvula relief del sistema hidraulico	Balanceadora. y alineadora	Desalineamiento
15	Switch quemado	Cambio de limit switch de anillo de ajuste	Termógrafo	Integridad de asilación, cableado y componentes electricos
16	Rotura de la base del motor	Soldadura de la base del motor	Vibrometro	Analisis de vibraciones
17	Arrancador Sofstarter averiado	Cambio de arrancador softstarter	Termógrafo	Integridad de asilación, cableado y componentes electricos
18	Cable recalentado	Se reparó cable dañado, se cambio nuevo conector	Termógrafo	Integridad de asilación, cableado y componentes electricos
19	Fisura en Manframe	Reparación de fisura de main frame, viciado y relleno de soldadura	Fisurometro	Detector de fisuras
20	Rajadura de soldadura de piñón de motor de cierre	Reparación por soldadura de piñón de motor de cierre	kit de Líquidos penetrantes	Rajadura de soldadura
21	Fajas flojas	Templado de correas de transmisión	Vibrometro	Analisis de vibraciones
22	Pistones desgastados	Cambio de 02 pistones clamping	Detector de grietas	Detector de grietas
23	Rotura de base de la bomba	Cambio de bomba del sist. Hidraulico	Fisurometro	Detector de fisuras
24	Switch de cierre quemado	Cambio de limit switch de cierre	Termógrafo	Integridad de asilación, cableado y componentes electricos
25	Pernos de la base flojos	Ajuste de pernos de base de chancadora	Vibrometro	Analisis de vibraciones
26	Perno roto en base de motor electrico	Cambio de perno de base de motor eléctrico	Detector de grietas	Detector de grietas
27	Pernos flojos en base de Mainframe	Cambio de pernos de base de mainframe	Vibrometro	Analisis de vibraciones
28	Transformador quemado	Transformador 3MVA	Termógrafo	Integridad de asilación, cableado y componentes electricos
29	Fuga de aceite en bomba	Se cambia bomba de lubricación por otra nueva	Medidor Ultrasónico	Detector de fugas por ultrasonido
30	Fuga de aceite de acumulador	Cambio de oring de acumulador #2 y cambio de pistón de alivio	Medidor Ultrasónico	Detector de fugas por ultrasonido

**Fuente: Elaboración propia**



**Gráfico N° 18: Diagrama de Pareto de las fallas de las chancadoras**



**Fuente: Elaboración propia**

Como se puede visualizar en el diagrama de Pareto, de las 42 fallas por las cuales las chancadoras se les hicieron mantenimiento, solo 24 fallas son las que representan el 80% del tiempo total de mantenimiento.

**B. Molinos:** Durante el año 2015 se obtuvo las siguientes fallas:

**Cuadro N° 33: Fallas de los molinos - 2015**

N°	Descripción de las falla	Tiempo unitario	N° Veces	Hrs.	% Acum.	%	CLC
1	Motor no enciende	40.00	10.00	400.00	20%	19.64%	\$5,450,051
2	Atoro en el chute de la faja alimentadora	25.25	11.00	277.75	33%	13.63%	\$3,784,379
3	Desgaste de manga y sello	23.20	10.00	232.00	45%	11.39%	\$3,161,029
4	Tarjeta de Interfaz de poder recalentado	27.30	8.00	218.40	55%	10.72%	\$2,975,728
5	Problemas eléctricos en el sistema de encroche	10.00	10.00	100.00	60%	4.91%	\$1,362,513
6	Fuga de agua	21.08	4.00	84.32	64%	4.14%	\$1,148,871
7	Rodamiento fundido	5.25	16.00	84.00	69%	4.12%	\$1,144,511
8	Rotura de malla	5.25	12.00	63.00	72%	3.09%	\$858,383
9	Piñón fundido	3.00	16.00	48.00	74%	2.36%	\$654,006
10	Fuga de aceite de la bomba de lubricación	3.00	15.00	45.00	76%	2.21%	\$613,131
11	Sensor de temperatura averiado	3.00	14.00	42.00	78%	2.06%	\$572,255
12	Arrancador quemado	3.00	13.00	39.00	80%	1.91%	\$531,380
13	Presión de aire en el encroche	3.00	10.00	30.00	82%	1.47%	\$408,754
14	Pernos flojos en la base en el acople de la bomba	3.00	10.00	30.00	83%	1.47%	\$408,754
15	Rajadura de la bomba de lubricación	3.00	9.00	27.00	84%	1.33%	\$367,878
16	Tablero de control no enciende	2.00	12.00	24.00	86%	1.18%	\$327,003
17	Desgaste de reductor de velocidad	1.75	12.00	21.00	87%	1.03%	\$286,128
18	Problemas en el sensor de presión de nujos en la bomba de control	3.00	7.00	21.00	88%	1.03%	\$286,128
19	Calentamiento del trunion de salida	1.50	14.00	21.00	89%	1.03%	\$286,128
20	Fisura en anillos rozantes	1.50	12.00	18.00	90%	0.88%	\$245,252
21	Interruptor quemado	1.75	10.00	17.50	90%	0.86%	\$238,440
22	Problemas en la #5 (contrapeso sobre carga excesiva)	1.55	11.00	17.08	91%	0.84%	\$232,743
23	Rajadura de soldadura en esparrago	2.00	8.00	16.00	92%	0.79%	\$218,002
24	Desgaste de forros	1.00	16.00	16.00	93%	0.79%	\$218,002
25	Fuga de aire	1.25	12.00	15.00	94%	0.74%	\$204,377
26	Rajadura de coupling de la bomba de lubricación	1.00	14.00	14.00	94%	0.69%	\$190,752
27	Falla de interruptor de la tension auxiliar de control	1.50	9.00	13.50	95%	0.66%	\$183,939
28	Rotura de soporte del manhole	1.00	11.00	11.00	96%	0.54%	\$149,876
29	Atoro de bolas en el spout feeder.	2.25	4.00	9.00	96%	0.44%	\$122,626
30	Desgaste de forro de bomba	0.75	12.00	9.00	96%	0.44%	\$122,626
31	Falta de presión en tubo de succión	1.80	5.00	9.00	97%	0.44%	\$122,626
32	Motor recalentado	0.75	11.00	8.25	97%	0.40%	\$112,407
33	Falla en el control del sistema de lubricación	1.50	5.00	7.50	98%	0.37%	\$102,188
34	Fuga de aire por fisura de base de la válvula	1.25	6.00	7.50	98%	0.37%	\$102,188
35	Manga y sello rotos	1.75	4.00	7.00	98%	0.34%	\$95,376
36	Rotura de perno del manhole.	1.25	5.00	6.25	99%	0.31%	\$85,157
37	Caja de piñón rajado	0.75	7.00	5.25	99%	0.26%	\$71,532
38	Polea desalineada	0.75	7.00	5.25	99%	0.26%	\$71,532
39	Fuga de grasa en manguera	0.50	8.00	4.00	99%	0.20%	\$54,501
40	Rotura de niple de rotor seal del sistema clutch	0.25	13.00	3.25	99%	0.16%	\$44,282
41	Falla en el variador de bombas.	0.75	4.00	3.00	100%	0.15%	\$40,875
42	Sensor de temperatura quemado	0.25	11.00	2.75	100%	0.13%	\$37,469
43	Rotura de la faja #8.	0.25	8.00	2.00	100%	0.10%	\$27,250
44	Tarjeta de unítril dañada	0.25	5.00	1.25	100%	0.06%	\$17,031
45	Rotura del empalme de la faja #6	0.25	5.00	1.25	100%	0.06%	\$17,031
<b>Total</b>		<b>214</b>	<b>436</b>	<b>2037</b>		<b>100%</b>	<b>\$27,755,091</b>

**Fuente: Elaboración propia**

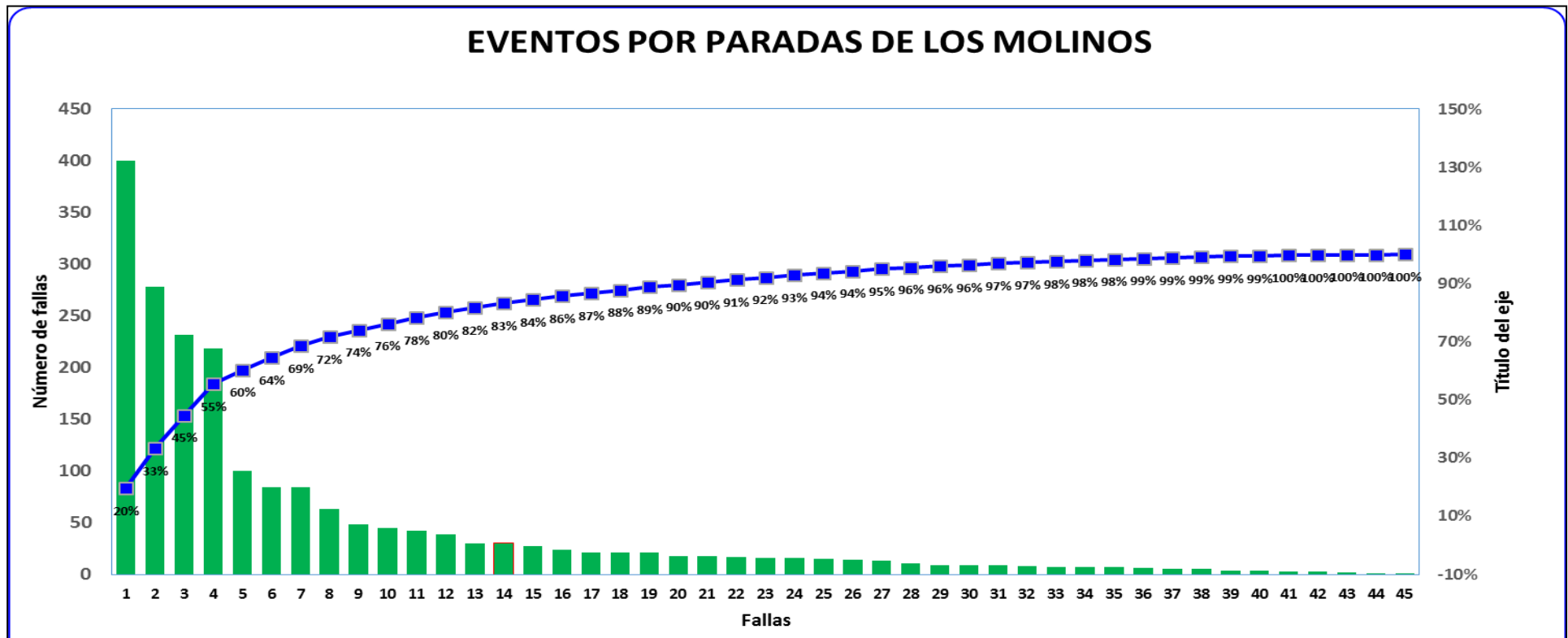
Adicional a ello se realizó un cuadro en el que se muestra las fallas con su respectiva solución, el tipo de equipo predictivo y análisis que se debe realizar en las chancadoras para poder detectar los parámetros que nos indiquen que un pieza esta por fallar. También en el gráfico N°19 se procedió a realizar un diagrama de Pareto para hallas las fallas críticas.

**Cuadro N° 34: Técnicas y equipos predictivos a usar para cada falla de los molinos**

N°	Falla	Solución	Equipo	Análisis
1	Rotura de niple de rotor seal del sistema cloutch	Cambio de niple	Fisurometro	Detector de fisuras
2	Rajadura de soldadura en esparrago	Reparación por soldadura de esparrago de manhole	kit de Líquidos penetrantes	Rajadura de soldadura
3	Caja de piñón rajado	Reparación de caja de piñón de contraeje	Detector de grietas	Detector de grietas
4	Desgaste de manga y sello	Reemplazo de manga y sello	Medidor de corrosión	Estado de corrosión
5	Rajadura de coupling de la bomba de lubricación	Cambio de coupling bomba de lubricación	Detector de grietas	Detector de grietas
6	Tarjeta de Interfaz de poder recalentado	Cambio de tarjeta interfaz de poder sdc's de unitrol	Termógrafo	Integridad de asilación, cableado y componentes electricos
7	Polea desalineada	Rectificado de polea de bomba WARMAN 10X8 n° 01	Balanceadora. y alineadora	Desalineamiento
8	Motor recalentado	Cambio de motor.	Viscosímetro	Medidor de estado del aceite
9	Tarjeta de unitrol dañada	Cambio de tarjeta en el unitrol	Termógrafo	Integridad de asilación, cableado y componentes electricos
10	Falla en el control del sistema de lubricación	Cambio de aceite	Viscosímetro	Medidor de estado del aceite
11	Rotura del empalme de la faja #6	Cambio de faja	Vibrometro	Análisis de vibraciones
12	Desgaste de forros	Inspección de forros	Medidor de corrosión	Estado de corrosión
13	Desgaste de reductor de velocidad	Inspección del reductor	Vibrometro	Análisis de vibraciones
14	Problemas eléctricos en el sistema de encroche	Revisión de instalación eléctrica	Termógrafo	Integridad de asilación, cableado y componentes electricos
15	Rotura de la faja #8.	Cambio de faja #8.	Vibrometro	Análisis de vibraciones
16	Rotura de perno del manhole.	Cambio de perno de manhole	Vibrometro	Análisis de vibraciones
17	Sensor de temperatura quemado	Cambio de sensor de temperatura	Termógrafo	Integridad de asilación, cableado y componentes electricos
18	Atoro de bolas en el spout feeder.	Limpieza de spout feeder	Vibrometro	Análisis de vibraciones
19	Atoro en el chute de la faja alimentadora	Limpieza de chute	Vibrometro	Análisis de vibraciones
20	Fuga de aire	Revisión de presión de aire en el encroche	Detector de fugas	Detector de fugas
21	Desgaste de forro de bomba	Cambio de forro de la bomba de pulpa	Medidor de corrosión	Estado de corrosión
22	Interruptor quemado	Cambio de interruptor de la tensión auxiliar de control	Termógrafo	Integridad de asilación, cableado y componentes electricos
23	Rotura de malla	Cambio de malla metálica	Detector de grietas	Detector de grietas
24	Manga y sello rotos	Cambio de manga y sello	Medidor Ultrasonico	Detector de fugas por ultrasonido
25	Fuga de grasa en manguera	Cambio de manguera hidráulica	Detector de fugas	Detector de fugas
26	Motor no enciende	Cambio de motor	Termógrafo	Integridad de asilación, cableado y componentes electricos
27	Rodamiento fundido	Cambio de rodamiento de polea	Vibrometro	Análisis de vibraciones

**Fuente: Elaboración propia**

Gráfico N° 19: Diagrama de Pareto de las fallas de los molinos



**Fuente: Elaboración propia**

Como se puede visualizar en el diagrama de Pareto, de las 45 fallas por las cuales a los molinos se les hicieron mantenimiento, solo 12 fallas son las que representan el 80% del tiempo total de mantenimiento.

## **2. Determinación de las técnicas y equipos predictivos**

Luego que se identificó anteriormente las fallas, fallas críticas, tipo de equipo predictivo y análisis a realizar en las chancadoras y molinos, se determinó que la empresa necesita adquirir 10 equipos los cuales se muestran en el siguiente cuadro

**Cuadro N° 35: Equipos predictivos en función de las fallas críticas**

EQUIPO	ANALISIS
Vibrometro	Analisis de vibraciones
Detector de fugas	Detector de fugas
Detector de grietas	Detector de grietas
Fisurometro	Detector de fisuras
Viscosímetro	Medidor de estado del aceite
Medidor Ultrasónico	Detector de fugas por ultrasonido
Medidor de corrosión	Estado de corrosión
kit de Líquidos penetrantes	Rajadura de soldadura
Balanceadora. y alineadora	Desalineamiento
Termógrafo	gridad de asilación, cableado y componentes electri

**Fuente: Elaboración propia**

A continuación en el cuadro N° 36, se muestra la lista de equipos predictivos que se deberán adquirir para llevar a cabo las inspecciones a los equipos críticos con sus respectivos precios.

**Cuadro N° 36: Equipos predictivos a adquirir para las inspecciones**

LISTA DE EQUIPOS	PRECIO UNITARIO(\$)	VIDA UTIL POR UNIDAD(AÑOS)	CANTIDAD	TOTAL
Vibrometro	\$4,636.80	5	3	\$13,910.40
Detector de fugas	\$1,853.91	5	3	\$5,561.74
Detector de grietas	\$5,677.28	5	3	\$17,031.84
Fisurometro	\$1,347.36	5	3	\$4,042.08
Viscosímetro	\$2,160.48	5	3	\$6,481.44
Medidor Ultrasónico	\$2,627.52	5	3	\$7,882.56
Medidor de corrosión	\$1,540.00	5	3	\$4,620.00
kit de Líquidos penetrantes	\$672.00	5	2	\$1,344.00
Balanceadora. y alineadora	\$6,384.00	5	4	\$25,536.00
Termógrafo	\$12,361.92	5	3	\$37,085.76
TOTAL				\$123,495.83

**Fuente: Elaboración propia**

Como se puede ver la inversión necesaria para la compra de los equipos predictivos es de \$123,495 dólares.

### **3. Determinación de la frecuencia de inspección para los equipos críticos**

Para determinar la frecuencia de inspección se usó la siguiente fórmula:

$$I = C \times F \times A$$

Para ejemplo mostraré como se obtuvo el primer valor de 3 inspecciones al año (ver el cuadro N° 37), que se deben realizar con el equipo detector de grietas en las chancadoras.

$$\text{Factor de costo}(C) = C_i / C_f = S/. 1,778,079 / \$2000. = 0.011$$

$$\text{Tasa de fallas } (\lambda) = 1/\text{mttr} = 1/9 = 0.11$$

$$\text{Factor de falla } (F) = F_i / \lambda = 15 \text{ fallas por inspección} / 0.11 \text{ fallas por año} = 135 \text{ Años/ inspección.}$$

$$A = -\ln [1 - \text{EXP } (-\lambda)] = A = -\ln [1 - \text{EXP } (-0.11)] = 2.25$$

$I = C \times F \times A = 0.011 \times 135 \text{ años / inspección} \times (2.25) = 0.34 \text{ años /inspección.}$  Si se desea calcular la frecuencia de inspección (f), se calcula el inverso del intervalo de inspección:  $f = 1/ 0.34 = 2.94 \text{ veces/año,}$  lo que se aproxima a 3 inspección por año.

A continuación en el cuadro N° 37, se muestra la frecuencia de inspección predictiva para cada equipo en función de las fallas y equipos predictivos a utilizar.

**Cuadro N° 37: Frecuencia de inspección predictiva**

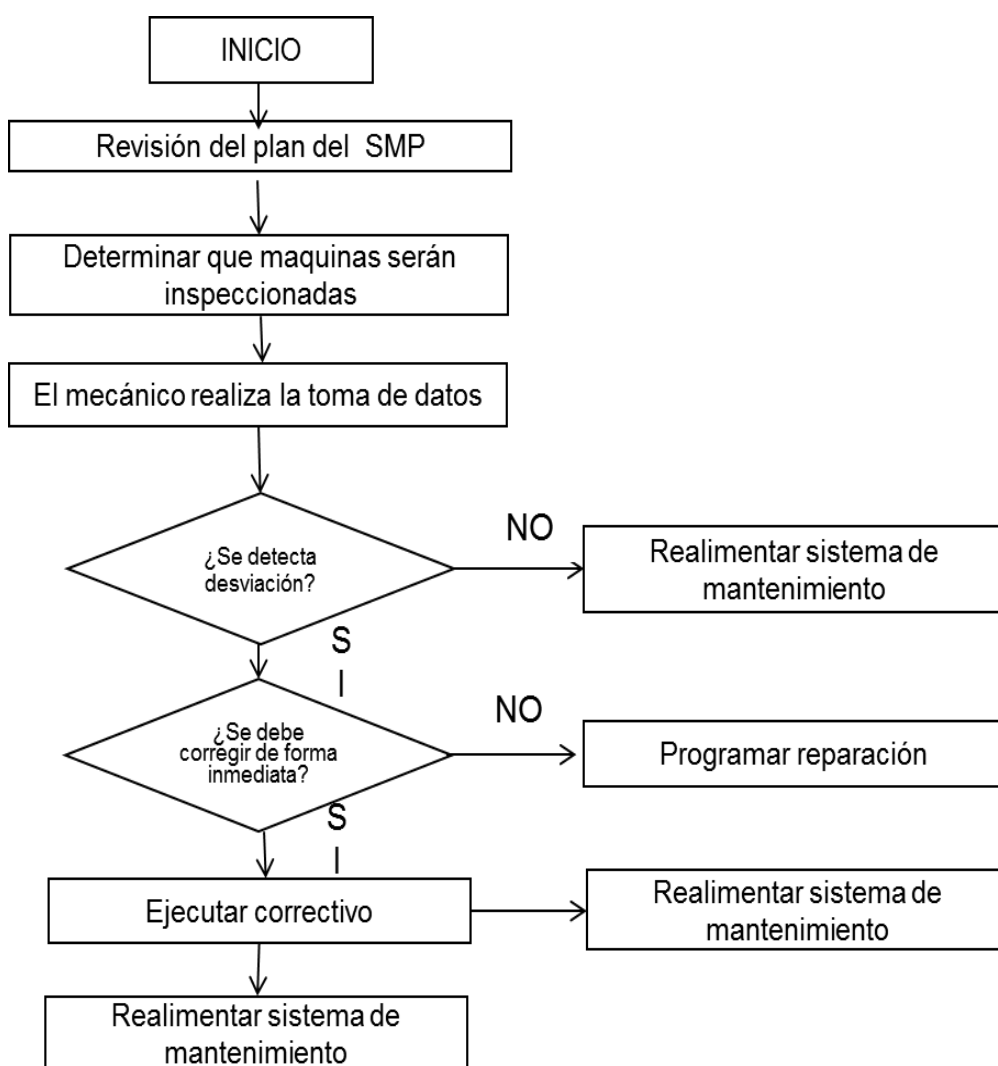
EQUIPO	N	FALLA	EQUIPO	ANALISIS	Costo de Lucro Cesante	Costo de Mtto. Predictivo	Factor de Costo	Totalidad de Fallas que se puede detectar con la técnica predictiva	Tasa de Fallas	Factor de Falla	Factor de Ajuste	Intervalo de inspección predictiva	Frecuencia de Mtto. Predictivo(N° veces/año)
CHANCADO	1	Pistones desgastados	Detector de grietas	Detector de grietas	\$1,778,079	\$2,000	0.0011	15	0.11	135.00	2.25	0.34	3
	2	Arrancador Sofstarter averiado	Termógrafo	Integridad de asilación, cableado y componentes electricos	\$1,294,387	\$2,000	0.0015	15	0.10	150.00	2.35	0.55	2
	3	Rotura de la base del motor	Vibrometro	Analisis de vibraciones	\$981,009	\$2,000	0.0020	15	0.11	135.00	2.25	0.62	2
	4	Fisura de anillo de ajuste	Fisurometro	Detector de fisuras	\$817,508	\$2,000	0.0024	15	0.20	75.00	1.71	0.31	4
	5	Rotura de piston	Vibrometro	Analisis de vibraciones	\$686,706	\$2,000	0.0029	15	0.17	90.00	1.87	0.49	3
	6	Switch de cierre quemado	Termógrafo	Integridad de asilación, cableado y componentes electricos	\$662,181	\$2,000	0.0030	15	0.11	135.00	2.25	0.92	2
	7	Rajadura de soldadura de piñon de motor de cierre	kit de Líquidos penetrantes	Rajadura de soldadura	\$654,006	\$2,000	0.0031	15	0.33	45.00	1.26	0.17	6
	8	Rotura de base de la bomba	Fisurometro	Detector de fisuras	\$585,880	\$2,000	0.0034	15	0.10	150.00	2.35	1.20	1
	9	rajadura de la bomba de lubricación	Fisurometro	Detector de fisuras	\$572,255	\$2,000	0.0035	15	0.17	90.00	1.87	0.59	2
	10	Motor sobrecargado	Termógrafo	Integridad de asilación, cableado y componentes electricos	\$572,255	\$2,000	0.0035	15	0.14	105.00	2.02	0.74	2
	11	Pernos de la base flojos	Vibrometro	Analisis de vibraciones	\$572,255	\$2,000	0.0035	15	0.14	105.00	2.02	0.74	2
	12	Fajas flojas	Vibrometro	Analisis de vibraciones	\$551,818	\$2,000	0.0036	15	0.11	135.00	2.25	1.10	1
	13	Fuga de aceite en bomba	Medidor Ultrasónico	Detector de fugas por ultrasonido	\$500,723	\$2,000	0.0040	15	0.14	105.00	2.02	0.85	2
	14	Fisura en Manframe	Fisurometro	Detector de fisuras	\$490,505	\$2,000	0.0041	15	0.25	60.00	1.51	0.37	3
	15	Switch quemado	Termógrafo	Integridad de asilación, cableado y componentes electricos	\$476,879	\$2,000	0.0042	15	0.20	75.00	1.71	0.54	2
	16	Contactor quemado	Termógrafo	Integridad de asilación, cableado y componentes electricos	\$463,254	\$2,000	0.0043	15	0.06	255.00	2.86	3.15	1
	17	Fuga de aceite de acumulador	Medidor Ultrasónico	Detector de fugas por ultrasonido	\$436,004	\$2,000	0.0046	15	0.13	120.00	2.14	1.18	1
	18	Fuga de aceite	Detector de fugas	Detector de fugas	\$425,785	\$2,000	0.0047	15	0.04	375.00	3.24	5.71	1
	19	Rotura de bocina	Detector de grietas	Detector de grietas	\$408,754	\$2,000	0.0049	15	0.13	120.00	2.14	1.26	1
	20	Faja alimentadora patinó	Vibrometro	Analisis de vibraciones	\$367,878	\$2,000	0.0054	15	0.08	180.00	2.53	2.47	1
	21	Cable recalentado	Termógrafo	Integridad de asilación, cableado y componentes electricos	\$339,266	\$2,000	0.0059	15	0.33	45.00	1.26	0.33	3
	22	Rajadura de revestimiento Bowl Liner	kit de Líquidos penetrantes	Rajadura de soldadura	\$327,003	\$2,000	0.0061	15	0.20	75.00	1.71	0.78	2
	23	Piñon de motor fundido	Viscosímetro	Medidor de estado del aceite	\$327,003	\$2,000	0.0061	15	0.17	90.00	1.87	1.03	1
	24	Rodamientos fundidos	Vibrometro	Analisis de vibraciones	\$327,003	\$2,000	0.0061	15	0.33	45.00	1.26	0.35	3
MOLIENDA	1	Motor no enciende	Termógrafo	Integridad de asilación, cableado y componentes electricos	\$5,450,051	\$2,000	0.0004	15	0.10	150.00	2.35	0.13	8
	2	Atoro en el chute de la faja alimentadora	Vibrometro	Analisis de vibraciones	\$3,784,379	\$2,000	0.0005	15	0.09	165.00	2.44	0.21	5
	3	Desgaste de manga y sello	Medidor de corrosión	Estado de corrosión	\$3,161,029	\$2,000	0.0006	15	0.10	150.00	2.35	0.22	5
	4	Tarjeta de Interfaz de poder recalentado	Termógrafo	Integridad de asilación, cableado y componentes electricos	\$2,975,728	\$2,000	0.0007	15	0.13	120.00	2.14	0.17	6
	5	Problemas eléctricos en el sistema de encroche	Termógrafo	Integridad de asilación, cableado y componentes electricos	\$1,362,513	\$2,000	0.0015	15	0.10	150.00	2.35	0.52	2
	6	Fuga de agua	Detector de fugas	Detector de fugas	\$1,148,871	\$2,000	0.0017	15	0.25	60.00	1.51	0.16	7
	7	Rodamiento fundido	Vibrometro	Analisis de vibraciones	\$1,144,511	\$2,000	0.0017	15	0.06	240.00	2.80	1.18	1
	8	Rotura de malla	Detector de grietas	Detector de grietas	\$858,383	\$2,000	0.0023	15	0.08	180.00	2.53	1.06	1
	9	Piñón fundido	Termógrafo	Integridad de asilación, cableado y componentes electricos	\$654,006	\$2,000	0.0031	15	0.06	240.00	2.80	2.06	1
	10	Fuga de aceite de la bomba de lubricación	Detector de fugas	Detector de fugas	\$613,131	\$2,000	0.0033	15	0.07	225.00	2.74	2.01	1
	11	Sensor de temperatura averiado	Termógrafo	Integridad de asilación, cableado y componentes electricos	\$572,255	\$2,000	0.0035	15	0.07	210.00	2.67	1.96	1
	12	Arrancador quemado	Termógrafo	Integridad de asilación, cableado y componentes electricos	\$531,380	\$2,000	0.0038	15	0.08	195.00	2.60	1.91	1

**Fuente: Elaboración propia**

En el cuadro anterior, quedó estipulado la frecuencia de inspección predictiva para cada falla para los equipos de chancado y molienda. Con estas inspecciones se podrá crear un historial para cada falla, y de esta forma lograr detectar el tiempo exacto cuando estas piezas deben ser revisadas o cambiadas y de esta manera aumentar la disponibilidad de los equipos.

#### 4. Flujograma del procedimiento mantenimiento predictivo

**Figura N° 19: Procedimiento del mantenimiento predictivo**



**Fuente: Elaboración propia**



En la figura que se mostró anteriormente, se puede visualizar el procedimiento a seguir para realizar las inspecciones con los equipos predictivos.

1. Revisar el programa de mantenimiento en base a la frecuencia a de inspección determinada para cada equipo crítico,
2. Luego de realizado la inspección si se detecta alguna desviación en los resultados obtenidos.
3. Si se detecta alguna desviación en algún parámetro, se realiza si es necesario la corrección inmediata o en todo caso se programará la reparación.
4. Por el contrario, si no se detecta ninguna desviación, solo se retroalimenta el sistema de mantenimiento con la información obtenida producto del análisis del equipo predictivo

#### **5. Programa de capacitación**

Con este programa de capacitación se busca que los trabajadores del área de Mantenimiento conozcan más a fondo acerca de temas de mantenimiento predictivo, ya que no solo basta con tener la intención de poner en práctica las inspecciones con los equipos predictivos que se adquieran; sino que se debe tener concomimiento de como llevar a cabo cada técnica y de qué manera llevarla a cabo en los diferentes equipos a los que se les deba realizar un seguimiento según la frecuencia de inspección que determinamos anteriormente.

A continuación se muestra en el cuadro N ° 38, el cronograma de capacitación propuesto para todo el año, con la finalidad de que los trabajadores del área de Mantenimiento logren llevar a cabo las inspecciones predictivas en los equipos críticos sin ningún problema.

**Cuadro N ° 38: Cronograma de capacitación**

			CRONOGRAMA												
N	CAPACITACIÓN	A quien va dirigido	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Costo
1	Alineamiento de Maquinaria Industrial	TRABAJADORES DEL AREA DE MANTENIMIENTO	X												\$ 3,500.00
2	Análisis de falla (causa - raiz); RCA			X											\$ 2,500.00
3	Análisis de Fallas por Ultrasonido				X										\$ 3,000.00
4	Análisis vibracional - Manejo de equipos- predictivos				X										\$ 3,500.00
5	Gestión del Mantenimiento Basado en la Confiabilidad					X									\$ 3,000.00
6	Herramientas para la Gestión del Mantenimiento					X									\$ 3,000.00
7	Herramientas para la Gestión del Mantenimiento						X								\$ 3,000.00
8	Lubricacion Industrial							X							\$ 3,000.00
9	Manejo Herramientas de medicion como calibrador, vernier y juego de escuadra							X							\$ 3,000.00
10	Mantenimiento predictivo								X						\$ 3,000.00
11	Planificación y Programación del Mantenimiento								X						\$ 3,000.00
12	Rodamientos y tipos en la industria Selección adecuada de rodamientos									X					\$ 3,000.00
13	Soldadura									X					\$ 3,000.00
14	Técnicas de Análisis y Solución de Problemas										X				\$ 3,000.00
15	Técnicas de Lubricación Industrial											X			\$ 3,000.00
16	Técnicas de Mantenimiento Predictivo												X		\$ 3,000.00
17	Tecnicas del Mantenimiento predictivo													X	\$ 3,000.00
TOTAL															\$ 51,500.00

**Fuente: Elaboración propia**

## 6. Impacto de la propuesta de mejora

### a. Excesivos costos en el mantenimiento de los equipos- cr8

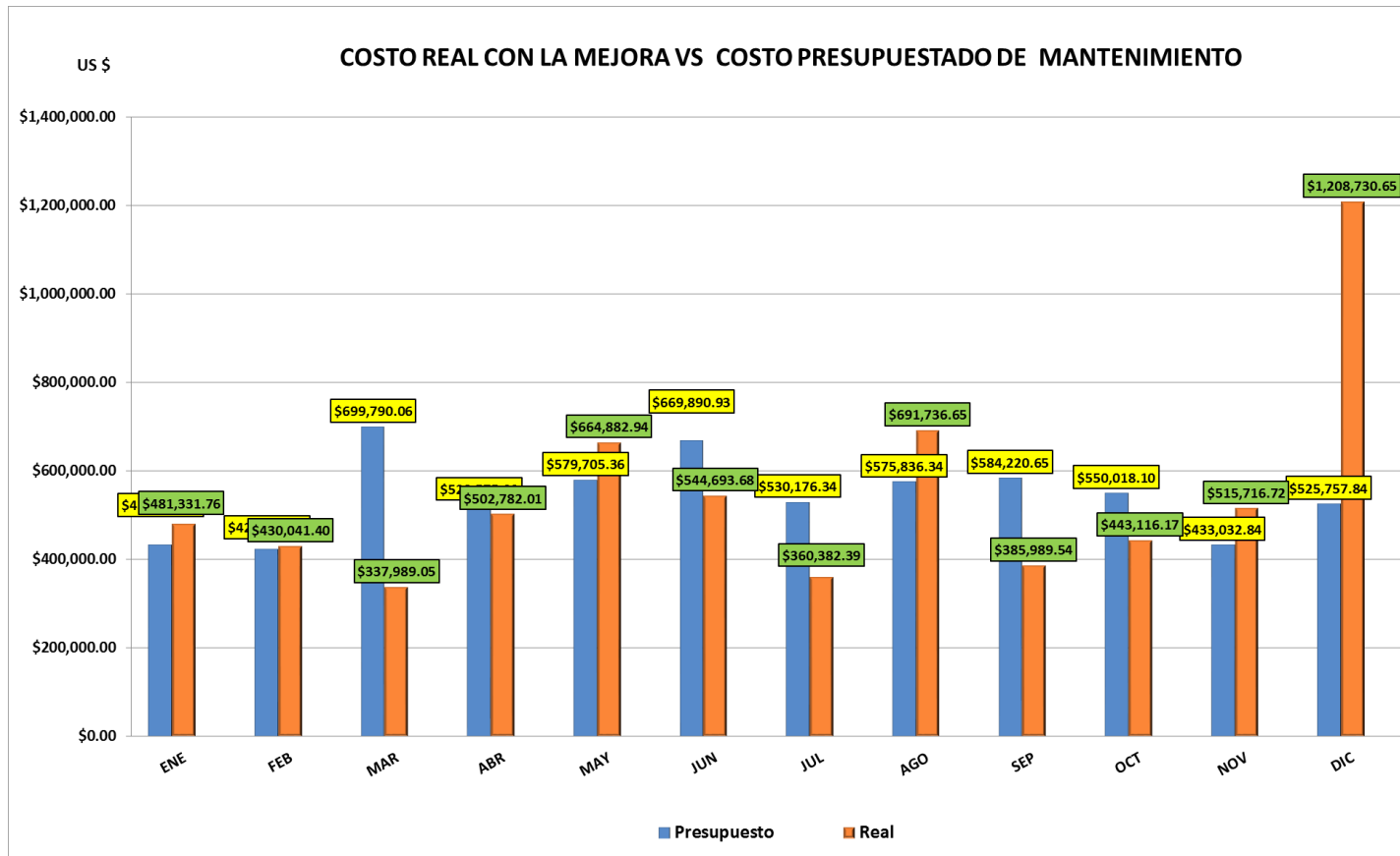
En el año 2015 el área de mantenimiento, obtuvo como costo total el valor de \$7,150,677, siendo el monto presupuestado \$6,528,809 . Lo cual representa un incremento sobre el presupuesto de 10%(\$621,868). Con la propuesta de mejora se logró reducir los costos de los materiales debido a la reducción del costo de repuestos de los molinos y chancadoras en \$351,412 además de la reducción del costo de los servicios de mantenimiento externo en \$231,872, obteniéndose un costo total de \$6,567,392. Estas reducciones permitieron reducir el desfase de presupuesto de los costos del área de mantenimiento en un 1% (\$38,583). Así como se muestra en el siguiente cuadro:

**Cuadro N° 39: Costos de mantenimiento con la propuesta de mejora**

NOMBRE GRUPO		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Total
MATERIALES	Presupuesto	\$216,393.46	\$200,239.45	\$486,317.33	\$265,387.46	\$285,786.58	\$400,318.19	\$285,181.38	\$356,888.60	\$362,097.91	\$318,580.36	\$231,310.10	\$231,310.10	\$3,639,810.91
	Real sin la mejora	\$252,444.06	\$252,956.42	\$211,515.96	\$259,663.14	\$374,566.82	\$281,940.13	\$193,085.97	\$488,473.13	\$291,357.26	\$231,429.54	\$288,897.24	\$740,274.95	\$3,866,604.62
	Ahorro con la mejora	\$29,284.38	\$29,284.38	\$29,284.38	\$29,284.38	\$29,284.38	\$29,284.38	\$29,284.38	\$29,284.38	\$29,284.38	\$29,284.38	\$29,284.38	\$29,284.38	\$351,412.55
	Real con la mejora	\$223,159.68	\$223,672.04	\$182,231.58	\$230,378.76	\$345,282.44	\$252,655.75	\$163,801.59	\$459,188.75	\$262,072.88	\$202,145.16	\$259,612.86	\$710,990.57	\$3,515,192.07
PERSONAL	Presupuesto	\$90,959.65	\$90,959.65	\$90,959.65	\$90,959.65	\$90,959.65	\$90,959.65	\$90,959.65	\$90,959.65	\$90,959.65	\$90,959.65	\$90,959.65	\$90,959.65	\$1,091,515.75
	Real	\$170,211.95	\$104,241.92	\$103,298.26	\$107,412.24	\$98,955.24	\$106,501.65	\$103,138.22	\$99,543.17	\$100,428.53	\$98,079.13	\$97,838.47	\$109,644.98	\$1,299,293.76
SERVICIOS	Presupuesto	\$125,177.97	\$131,605.20	\$121,777.97	\$166,492.97	\$202,224.02	\$177,877.97	\$153,300.20	\$127,252.97	\$130,427.97	\$139,742.97	\$110,027.97	\$202,752.97	\$1,788,661.17
	Real sin la mejora	\$106,599.63	\$120,426.07	\$71,113.94	\$183,636.39	\$237,179.95	\$203,980.16	\$111,952.38	\$148,553.48	\$42,148.18	\$161,579.46	\$176,927.25	\$406,763.35	\$1,970,860.24
	Ahorro con la mejora	\$19,322.70	\$19,322.70	\$19,322.70	\$19,322.70	\$19,322.70	\$19,322.70	\$19,322.70	\$19,322.70	\$19,322.70	\$19,322.70	\$19,322.70	\$19,322.70	\$231,872.44
	Real con la mejora	\$87,276.93	\$101,103.37	\$51,791.24	\$164,313.69	\$217,857.25	\$184,657.46	\$92,629.68	\$129,230.78	\$22,825.48	\$142,256.76	\$157,604.55	\$387,440.65	\$1,738,987.80
OTROS	Presupuesto	\$735.12	\$735.12	\$735.12	\$735.12	\$735.12	\$735.12	\$735.12	\$735.12	\$735.12	\$735.12	\$735.12	\$735.12	\$8,821.44
	Real	\$683.20	\$1,024.07	\$667.97	\$677.32	\$2,788.01	\$878.82	\$812.90	\$3,773.95	\$662.65	\$635.12	\$660.84	\$654.45	\$13,919.30
Total general	Presupuesto	\$433,266.20	\$423,539.41	\$699,790.06	\$523,575.20	\$579,705.36	\$669,890.93	\$530,176.34	\$575,836.34	\$584,220.65	\$550,018.10	\$433,032.84	\$525,757.84	\$6,528,809.28
	Real sin la mejora	\$529,938.84	\$478,648.48	\$386,596.13	\$551,389.09	\$713,490.02	\$593,300.76	\$408,989.47	\$740,343.73	\$434,596.62	\$491,723.25	\$564,323.80	\$1,257,337.73	\$7,150,677.92
	Ahorro con la mejora	\$48,607.08	\$48,607.08	\$48,607.08	\$48,607.08	\$48,607.08	\$48,607.08	\$48,607.08	\$48,607.08	\$48,607.08	\$48,607.08	\$48,607.08	\$48,607.08	\$583,284.99
	Real con la mejora	\$481,331.76	\$430,041.40	\$337,989.05	\$502,782.01	\$664,882.94	\$544,693.68	\$360,382.39	\$691,736.65	\$385,989.54	\$443,116.17	\$515,716.72	\$1,208,730.65	\$6,567,392.93
Costo real sin la mejora -presupuesto														\$621,868.64
Costo real con la mejora -presupuesto														\$38,583.65
$\left( \frac{\text{Costo real del area de mantenimiento}}{\text{Costo presupesutado del area de mantto.}} * 100 \% \right) - 100\%$							SIN LA MEJORA	CON LA MEJORA						
							10%	1%						

**Fuente: Elaboración propia**

**Gráfico N° 20: Costo real con la mejora vs Costo presupuestado de Mantenimiento**



**Fuente: Elaboración propia**

#### **b. Falta de cumplimiento del programa de mantenimiento– cr1**

En el año 2015 el área de mantenimiento, obtuvo un cumplimiento del programa de mantenimiento del 81% debido a que de las 2573 tareas programadas solamente se llegó a ejecutar 2079 tareas.

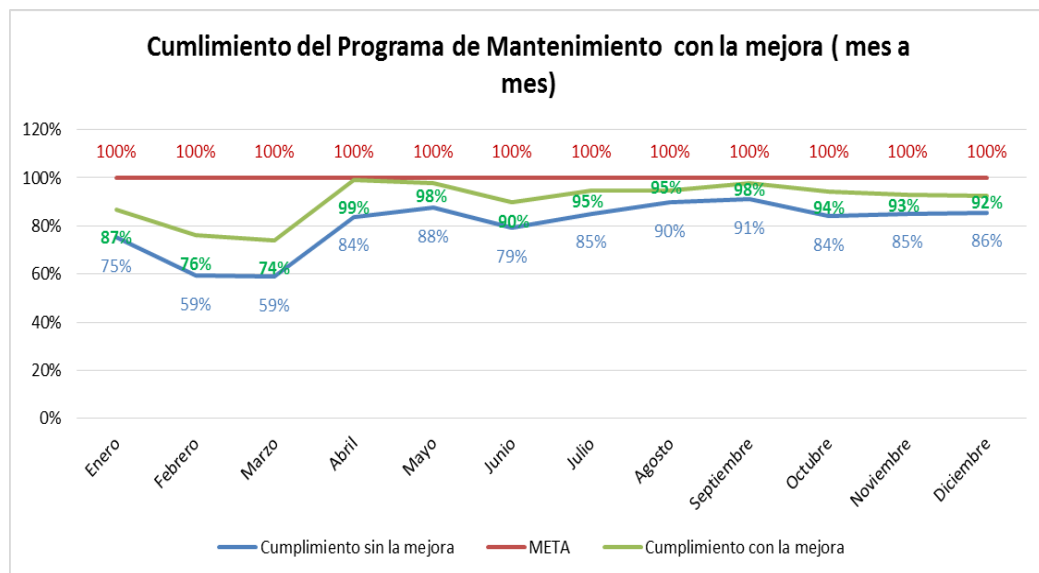
Con la propuesta de mejora se espera aumentar el cumplimiento debido a que con el sistema de mantenimiento predictivo se hará un adecuado seguimiento y detección de las fallas y esto permitirá una reducción del número de fallas en un 40 % de las chancadoras y molinos, incrementando el porcentaje de cumplimiento del programa de mantenimiento a 92%. Así como se muestra en el cuadro N° 40 y el gráfico N°21.

**Cuadro N° 40: % de cumplimiento del programa de mantenimiento con la propuesta de mejora**

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
Trabajos	Tareas	Tareas	Tareas	Tareas	Tareas	Tareas	Tareas	Tareas	Tareas	Tareas	Tareas	Tareas	Tareas
Programado	310	189	170	172	400	212	189	178	189	188	181	195	2573
Reducción de MP	42	42	35	27	42	25	19	9	13	20	15	14	303
Nuevo valor de OT programado	268	147	135	145	358	187	170	169	176	168	166	181	2270
Ejecutado	233	112	100	144	350	168	161	160	172	158	154	167	2079
Cumplimiento sin la mejora	75%	59%	59%	84%	88%	79%	85%	90%	91%	84%	85%	86%	81%
Cumplimiento con la mejora	87%	76%	74%	99%	98%	90%	95%	95%	98%	94%	93%	92%	92%
META	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

**Fuente: Elaboración propia**

**Gráfico N° 21: Cumplimiento del Programa de Mantenimiento con la mejora vs sin la mejora (mes a mes)**



**Fuente: Elaboración propia**

### **c. Falta de gestión de repuestos- cr11**

Actualmente, la empresa no tiene identificado cuáles son los repuestos críticos, Además se sabe que en el año 2015 se gastó \$1,911,027 en repuestos para las chancadoras y \$431,723 en repuestos para los molinos, sumando un total de \$2,342,750, llegando a representar el 81% del monto total gastado en repuestos el cual fue de \$2,907,399.

Cabe mencionar que en el año 2015, el gasto en repuestos para chancadoras y molinos representó el 33% del costo total del área de mantenimiento el cual fue de \$7,150,678.

Con la propuesta de mejora, se espera reducir el número de fallas de los equipos crítico de las chancadoras y molinos en un 15% en el primer año, posteriormente este porcentaje puede ir en aumento en los próximos años, debido a que se tendrá una forma de determinar que repuestos son críticos y que cantidad se debe tener en función de las fallas críticas.

Esta reducción del número de fallas permitirá reducir en un 15 % el costo de repuestos para las chancadoras y molinos. El monto que se

redujo fue de un 12%(\$230,983) para las chancadoras y 28%(\$120,430) para los molinos sumando un total de \$351,412. Con esto se llegó a reducir el porcentaje de representación del costo total de los repuestos de chancadoras y molinos frente al costo total de mantenimiento de 33% a 28%. Así como se muestra en el siguiente cuadro:

**Cuadro N° 41: Costo de repuestos para las chancadoras y molinos con la propuesta de mejora**

REPUESTOS	SIN LA MEJORA		CON LA MEJORA		% REDUCCIÓN
	USD	%	USD	%	
COSTO DE REPUESTOS DE CHANCADORAS	1,911,027	66%	1,680,045	58%	-12%
COSTO DE REPUESTOS DE MOLINOS	431,723	15%	311,293	11%	-28%
COSTO TOTAL DE REPUESTOS AÑO 2015	2,907,399	100%	2,555,986		
PARTICIPACIÓN DE REPUESTOS DE CHANCADORAS Y MOLINOS VS COSTO TOTAL DE MANTTO.					
REPUESTOS	USD	%	USD	%	% REDUCCIÓN
COSTO TOTAL DE REPUESTOS AÑO 2015	2,907,399	41%	2,555,986	36%	-12%
COSTO DE REPUESTOS DE CHANCADORAS Y MOLINOS	2,342,750	33%	1,991,338	28%	-15%
COSTO TOTAL DE MANTENIMIENTO	7,150,678	100%	6,567,393	92%	-8%

**Fuente: Elaboración propia**

#### d. Falta de disponibilidad de los equipos-cr12

En el año 2015 la empresa obtuvo en promedio una disponibilidad de 93.92% en los equipos de chancado y 94.16% para los equipos de molienda, pero con la propuesta de mejora se logró aumentar la disponibilidad de los equipos de chancado a 96.42% y para los equipos de molienda a 96.46%. Así como se muestra en el siguiente cuadro:

**Cuadro N° 42: Disponibilidad los equipos de Chancado y molienda con la propuesta de mejora**

CHANCADO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO ACUMULADO AÑO
HP500	95.20%	93.13%	96.70%	96.34%	96.86%	95.90%	97.95%	98.45%	99.80%	98.45%	98.75%	97.85%	97.12%
HP400 N° 05	95.20%	93.13%	96.30%	96.08%	97.79%	95.08%	97.51%	96.35%	97.84%	96.98%	98.75%	98.52%	96.63%
HP400 N° 01	95.20%	92.20%	96.36%	96.45%	96.38%	94.33%	95.26%	99.89%	98.13%	96.56%	96.20%	97.27%	96.18%
HP400 N° 02	94.78%	93.93%	96.37%	95.57%	95.38%	96.04%	95.71%	96.30%	96.55%	97.14%	98.75%	94.98%	95.96%
HP400 N° 03	94.52%	92.06%	97.19%	96.00%	96.47%	96.03%	97.43%	98.72%	99.58%	97.38%	97.20%	99.33%	96.83%
HP400 N° 04	86.54%	93.55%	95.30%	94.61%	97.11%	95.54%	93.39%	98.15%	98.33%	94.44%	97.59%	98.86%	95.29%
CH. SANDVIK	98.30%	94.74%	98.00%	98.33%	95.80%	98.83%	98.76%	88.87%	98.47%	98.19%	98.42%	96.64%	96.95%
Disponibilidad con la propuesta de mejora	94.25%	93.25%	96.60%	96.20%	96.54%	95.96%	96.57%	96.68%	98.39%	97.02%	97.95%	97.63%	96.42%

MOLIENDA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO ACUMULADO AÑO
MOLINO N° 07	95.41%	96.27%	97.12%	96.48%	97.06%	95.69%	96.39%	96.47%	97.44%	97.90%	96.31%	98.20%	96.73%
MOLINO N° 06	94.50%	95.54%	97.07%	97.90%	95.70%	99.17%	96.90%	96.74%	97.29%	97.22%	97.15%	98.66%	96.99%
MOLINO N° 05	96.15%	95.88%	97.36%	96.65%	94.53%	95.54%	97.49%	94.02%	97.02%	97.21%	98.35%	96.80%	96.42%
MOLINO N° 04	97.23%	93.24%	97.90%	96.51%	94.64%	95.90%	96.05%	87.10%	96.86%	95.60%	94.64%	96.00%	95.14%
MOLINO N° 03	95.89%	93.57%	97.71%	95.45%	94.80%	98.89%	96.33%	97.61%	93.06%	96.94%	96.00%	95.72%	96.00%
MOLINO N° 02	96.18%	92.42%	98.11%	96.21%	94.03%	95.82%	96.00%	94.54%	95.14%	95.85%	96.96%	97.45%	95.72%
MOLINO N° 01	97.46%	97.84%	98.45%	98.83%	99.03%	98.98%	97.45%	95.51%	95.79%	98.57%	98.99%	95.29%	97.68%
Disponibilidad con la propuesta de mejora	95.60%	95.30%	97.33%	96.76%	95.67%	96.75%	96.67%	95.13%	96.80%	97.19%	96.76%	97.59%	96.46%

**Fuente: Elaboración propia**

A pesar del incremento de la disponibilidad, ninguno de los 2 equipos logró alcanzar la disponibilidad presupuestada. Debido a que se obtuvo una disponibilidad real de 96.42% en las chancadoras teniendo una disponibilidad presupuestada de 98.21%, así mismo los molinos obtuvieron una disponibilidad real de 96.46% teniendo como disponibilidad presupuestada de 97.71%. Así como se muestra en el cuadro N°43 y el gráfico N°22.

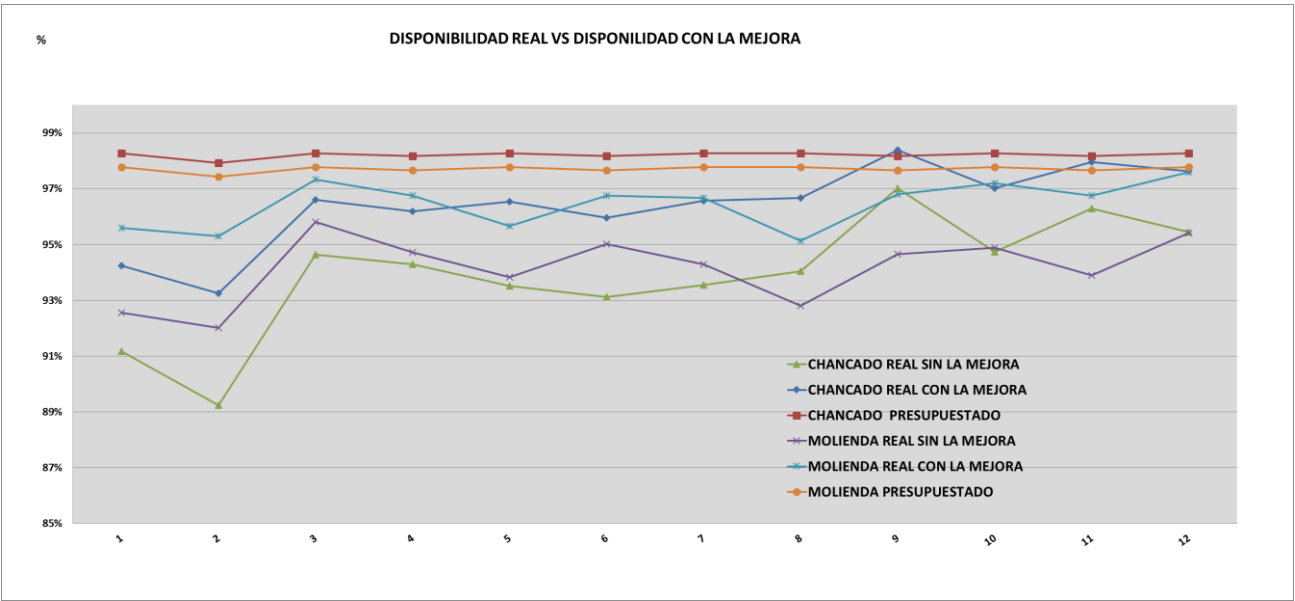
**Cuadro N° 43: Disponibilidad real vs Disponibilidad presupuestada**

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO ACUMULADO AÑO
CHANCADO REAL SIN LA MEJORA	91.17%	89.24%	94.63%	94.29%	93.51%	93.13%	93.55%	94.04%	97.01%	94.74%	96.28%	95.44%	93.92%
CHANCADO REAL CON LA MEJORA	94.25%	93.25%	96.60%	96.20%	96.54%	95.96%	96.57%	96.68%	98.39%	97.02%	97.95%	97.63%	96.42%
CHANCADO PRESUPUESTADO	98.27%	97.93%	98.27%	98.17%	98.27%	98.17%	98.27%	98.27%	98.17%	98.27%	98.17%	98.27%	98.21%
MOLIENDA REAL SIN LA MEJORA	92.56%	92.02%	95.81%	94.72%	93.82%	95.03%	94.29%	92.81%	94.65%	94.89%	93.89%	95.42%	94.16%
MOLIENDA REAL CON LA MEJORA	95.60%	95.30%	97.33%	96.76%	95.67%	96.75%	96.67%	95.13%	96.80%	97.19%	96.76%	97.59%	96.46%
MOLIENDA PRESUPUESTADO	97.77%	97.43%	97.77%	97.67%	97.77%	97.67%	97.77%	97.77%	97.67%	97.77%	97.67%	97.77%	97.71%

Fuente: Elaboración propia

**Gráfico N° 22: Disponibilidad real vs Disponibilidad presupuestada**

(Chancado y molienda)



Fuente: Elaboración propia



#### e. Reducción del material procesado por paros no programados-cr7

En el año 2015, la empresa presupuesto que se procesaría un total de 2,471,000 toneladas de material solido (TMS) y que se obtendría 19465 Toneladas de cobre fino pagables (TMF). Cabe mencionar que esto se presupuestó, asumiendo que se mantendría un disponibilidad en las chancadoras de 98.21% y en los molinos de 97.7%. Sin embargo en el año 2015 se procesó 2,332,088 toneladas de material solido (TMS) y se obtuvo 18,246 toneladas de cobre fino pagables (TMF), debido a que se tuvo una disponibilidad real en las chancadoras de 93.92% y 94.16% para los molinos.

Con la propuesta de mejora se logró aumentar las toneladas de material solido procesadas (TMS) a 2,386,250 y se obtuvo 18,802 toneladas de cobre fino pagables (TMF), debido a que se logró tener una disponibilidad real en las chancadoras de 96.42% y 96.46% para los molinos. Así como se muestra en el siguiente cuadro:

**Cuadro N° 44: Disponibilidad real vs TMF pagables real**

REAL													
	ene-15	feb-15	mar-15	abr-15	may-15	jun-15	jul-15	ago-15	sep-15	oct-15	nov-15	dic-15	Total 2015
Días de tratamiento	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365
Días Con mantenimiento	28.30	25.06	29.30	28.18	28.83	28.15	29.16	28.04	28.52	29.43	28.65	29.29	341
Toneladas anuales	198,079	175,392	205,077	197,259	201,778	197,055	204,112	196,267	199,644	206,017	200,516	205,055	2,386,250
TPD	6,390	6,264	6,615	6,575	6,509	6,568	6,584	6,331	6,655	6,646	6,684	6,615	6,106
	DISPONIBILIDAD REAL												
	ene-15	feb-15	mar-15	abr-15	may-15	jun-15	jul-15	ago-15	sep-15	oct-15	nov-15	dic-15	Total 2015
MOLIENDA	95.60%	95.30%	97.33%	96.76%	95.67%	96.75%	96.67%	95.13%	96.80%	97.19%	96.76%	97.59%	96.46%
CHANCADO	94.25%	93.25%	96.60%	96.20%	96.54%	95.96%	96.57%	96.68%	98.39%	97.02%	97.95%	97.63%	96.42%
TMF pagables real 2015	1,423	1,257	1,407	1,543	1,592	1,550	1,622	1,721	1,591	1,699	1,662	1,734	18,802

**Fuente: Elaboración propia**

Llegándose a incrementar la eficiencia del procesamiento de mineral de 94.4% a 96.6%, significando que la empresa dejo de vender un total de 663.36 TMF que equivale a un monto de \$3,883,227 o su equivalente en soles de S/. 12,814,650. Así como se muestra en el cuadro N° 45.

**Cuadro N° 45: Eficiencia del procesamiento de mineral**

	ene-15	feb-15	mar-15	abr-15	may-15	jun-15	jul-15	ago-15	sep-15	oct-15	nov-15	dic-15	Total 2015
<b>TONELADAS REALES</b>	198079	175392	205077	197259	201778	197055	204112	196267	199644	205943	200516	205055	2386176
<b>TONELADAS PRESUPUESTADAS</b>	210000	189000	210000	203000	210000	203000	210000	210000	203000	210000	203000	210000	2471000
<b>EFICIENCIA</b>	94.3%	92.8%	97.7%	97.2%	96.1%	97.1%	97.2%	93.5%	98.3%	98.1%	98.8%	97.6%	96.6%
	ene-15	feb-15	mar-15	abr-15	may-15	jun-15	jul-15	ago-15	sep-15	oct-15	nov-15	dic-15	Total 2015
TMF pagables ppto 2015	1508.58	1354.46	1440.75	1587.81	1657.29	1597.23	1668.43	1841.93	1617.57	1732.34	1682.77	1776.04	19465.21
TMF pagables con la porpuesta de mejora	1422.94	1256.94	1406.97	1542.91	1592.41	1550.46	1621.65	1721.47	1590.83	1698.88	1662.18	1734.21	18801.85
diferencia	85.64	97.52	33.78	44.90	64.88	46.78	46.78	120.46	26.74	33.47	20.59	41.82	663.36
	ene-15	feb-15	mar-15	abr-15	may-15	jun-15	jul-15	ago-15	sep-15	oct-15	nov-15	dic-15	Total 2015
USD/Ton	\$6,265.53	\$6,023.02	\$6,446.31	\$6,369.15	\$6,534.49	\$6,113.41	\$5,842.24	\$5,326.36	\$5,511.55	\$5,370.45	\$5,161.02	\$4,717.89	
Perdida dolares	\$536,582.67	\$587,373.45	\$217,746.20	\$285,981.29	\$423,980.74	\$285,973.11	\$273,307.75	\$641,599.54	\$147,371.47	\$179,729.26	\$106,263.27	\$197,318.55	\$3,883,227.30
Perdida soles	S/. 1,770,723	S/. 1,938,332	S/. 718,562	S/. 943,738	S/. 1,399,136	S/. 943,711	S/. 901,916	S/. 2,117,278	S/. 486,326	S/. 593,107	S/. 350,669	S/. 651,151	S/. 12,814,650

**Fuente: Elaboración propia**

Además se sabe que en el año 2015 se asignó un total de 12 días para mantenimiento como presupuesto y en realidad se obtuvo 41 días de mantenimiento. Con la propuesta de mejora se logró reducir de 41 días a 24 días.

**f. Falta de equipos predictivos para el mantenimiento en planta-cr9**

Actualmente la empresa no cuenta con equipos que le permitan hacer una detección y seguimiento del estado de los componentes de la maquinaria en planta, tampoco practica el mantenimiento predictivo dentro de sus actividades de mantenimiento. Esto se determinó, debido a que en el año 2015 se obtuvo para las chancadoras un total de 2266 horas de paradas para mantenimiento preventivo y 1327 horas de mantenimiento correctivo y para los molinos se obtuvo un total de 1720 horas de paradas para mantenimiento preventivo y 2036 horas de mantenimiento correctivo.

Como propuesta de mejora se propuso la compra de 10 tipos de equipos predictivos que le permitan hacer una detección de las fallas antes de que estas sucedan, con lo cual se logró reducir el número de horas en los equipos de chancado a 1346 para MP y 769 MC, con lo cual se disminuyó las toneladas de material dejadas de procesar en 419,753 ; con lo cual se dejó de procesar 605,114 toneladas de material sólido. Así como se muestra en el siguiente cuadro:

**Cuadro N° 46: Horas de MP y MC para las chancadoras luego de la propuesta de mejora**

	SIN LA PROPUESTA DE MEJORA				CON LA PROPUESTA DE MEJORA					
	HORAS		TN PERDIDAS		HORAS		TN PERDIDAS			
CHANCADO	MP	MC	TN PERDIDO MP	TN PERDIDO MC	MP	MC	TN PERDIDO MP	TN PERDIDO MC		
HP500	298.10	0.00	116259.00	46722.00	181.67	0.00	70849.77	26751.86		
HP400 N° 05	332.80	165.28	90854.40	45121.44	192.13	101.08	52452.00	27594.55		
HP400 N° 01	362.73	209.07	68918.70	39722.54	208.02	123.40	39523.85	23446.91		
HP400 N° 02	369.95	256.22	70660.45	48937.26	219.13	134.31	41852.88	25652.83		
HP400 N° 03	310.10	161.49	59539.20	31005.31	179.49	95.44	34462.74	18325.03		
HP400 N° 04	335.90	342.69	64828.70	66138.40	205.99	206.88	39755.59	39927.33	AUMENTO DE LA DISPONIBILIDAD	REDUCCIÓN DE TONELADAS PERDIDAS
CH. SANDVIK	256.50	192.54	157747.50	118412.10	159.18	108.34	97892.63	66626.03		
TOTAL	2266	1327	628808	396059	1346	769	376789	228325		
Disponibilidad Real	93.92%		1024867		96.42%		605114		2.5%	-419753

**Fuente: Elaboración propia**

Adicional a ello con la propuesta de mejora se logró reducir el número de horas en los equipos de molienda a 968 para MP y 1246 MC, con los cual se disminuyó las toneladas de material dejadas de procesar en 80,796 ; con lo cual se dejó de procesar 110,468 toneladas de material sólido. Así como se muestra en el siguiente cuadro:

**Cuadro N° 47: Horas de MP y MC para los molinos luego de la propuesta de mejora**

MOLIENDA	SIN LA PROPUESTA DE MEJORA				CON LA PROPUESTA DE MEJORA				AUMENTO DE LA DISPONIBILIDAD	% REDUCCIÓN DE TONELADAS PERDIDAS
	HORAS		TN PERDIDAS		HORAS		TN PERDIDAS			
	MP	MC	TN PERDIDO MP	TN PERDIDO MC	MP	MC	TN PERDIDO MP	TN PERDIDO MC		
MOLINO N° 07	247.00	198.40	24453.00	19641.60	165.34	120.72	16368.83	11950.79		
MOLINO N° 06	240.50	231.15	16594.50	15949.35	122.90	140.92	8480.10	9723.71		
MOLINO N° 05	269.75	244.05	15375.75	13910.85	165.04	148.82	9407.38	8482.55		
MOLINO N° 04	257.25	459.00	7203.00	12852.00	155.21	270.04	4345.83	7561.04		
MOLINO N° 03	239.00	356.90	5258.00	7851.80	123.17	225.58	2709.67	4962.86		
MOLINO N° 02	237.00	349.80	4029.00	5946.60	153.08	219.33	2602.42	3728.59		
MOLINO N° 01	229.50	196.75	22720.50	19478.25	83.08	120.39	8225.25	11918.78		
TOTAL	1720	2036	95634	95630	968	1246	52139	58328		
Disponibilidad Real	94.16%		191264		96.46%		110468		2.3%	-80796

**Fuente: Elaboración propia**

#### g. Falta de capacitación al personal del área de mantenimiento –cr6

En el año 2015, la empresa destinó \$ 45,190 en capacitación (asesores y consultores), esto significa que la empresa destino un 1% del total de sus costos totales del área de mantenimiento. Esto demuestra que no se invierte mucho dinero en capacitación del personal que se encarga de realizar las labores de mantenimiento. Con la propuesta de mejora se propuso incrementar este valor a \$ 96,690 debido a que se planificó un cronograma de 17 capacitaciones adicionales los cuales tienen un costo de \$ 51,500.

Adicional a ello, la propuesta de mejora permitió reducir el costo de los servicios de mantenimiento por terceros en \$ 231,872, llegando a tener un costo de \$ 1,313,944 (15% menos), representando el 18% del costo total de del área de mantenimiento.

#### Cuadro N° 48: Costo de capacitación con la propuesta de mejora

SERVICIOS DE TERCEROS Y CAPACITACIÓN	SIN LA MEJORA		CON LA MEJORA		% REDUCCIÓN O AUMENTO
	USD	%	USD	%	
Servicios de mantenimiento de equipos	1,545,816		1,545,816		
Ahorro en servicios de mantenimiento por terceros con la mejora			231,872		
Nuevo valor de los servicios de mantenimiento	1,545,816	22%	1,313,944	18%	-15%
Capacitación (Consultores y asesores) sin la mejora	45,190		45,190		
Capacitación con el programa de capacitación propuesto			51,500		
Inversión en capacitación total	45,190	1%	96,690	2%	1%
COSTO TOTAL DEL AREA DE MANTENIMIENTO SIN LA MEJORA	7,150,678		6,567,393		-8%

Fuente: Elaboración propia

## **CAPÍTULO 5: EVALUACIÓN ECONÓMICA Y FINANCIERA**

## 5.1 Inversión para la propuesta de mejora

**Cuadro N ° 49: Inversión total de la propuesta de mejora**

<b>INVERSION EN INSTRUMENTOS PREDICTIVOS</b>	<b>\$123,496</b>		
<b>LISTA DE EQUIPOS</b>	<b>COSTO</b>	<b>VIDA UTIL</b>	<b>DEPRECIACIÓN MENSUAL</b>
Vibrometro	\$13,910.40	5	\$231.84
Detector de fugas	\$5,561.74	5	\$92.70
Detector de grietas	\$17,031.84	5	\$283.86
Fisurometro	\$4,042.08	5	\$67.37
Viscosímetro	\$6,481.44	5	\$108.02
Medidor Ultrasónico	\$7,882.56	5	\$131.38
Medidor de corrosión	\$4,620.00	5	\$77.00
kit de Líquidos penetrantes	\$1,344.00	5	\$22.40
Balanceadora. y alineadora	\$25,536.00	5	\$425.60
Termógrafo	\$37,085.76	5	\$618.10
<b>INVERSION EN CAPACITACIÓN</b>	<b>\$51,500.00</b>		<b>\$2,058</b>
<b>INVERSION TOTAL</b>	<b>\$174,996</b>		

**Fuente: Elaboración propia**

## 5.2 Ahorro implementando la propuesta

1. Aumento de la eficiencia en el procesamiento de mineral de 93.8% a 96.6 %, con lo cual se logró obtener 556 Toneladas de material fino de cobre adicionales para la venta.
2. Reducción del costo de los servicios de mantenimiento externo en un 15% mensual.
3. Reducción del costo en repuestos para chancadoras y molinos en un 15%.
4. Reducción de 40% de fallas de los equipos de chancado y molienda, con ello se logró aumentar la disponibilidad de los equipos de chancado de 93.92% a 96.42% y de los molinos de 94.16% a 96.46%.

Todos estos beneficios se verán reflejados en el siguiente cuadro.

**Cuadro N ° 50: Ingresos obtenidos por la propuesta de mejora**

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
<b>TMF ADICIONAL</b>	18.83	6.63	38.75	49.51	11.99	24.32	44.09	96.47	34.27	93.49	83.18	55.21	556.73
<b>AHORROS</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Total</b>
AUMENTO DE VENTAS	\$117,977	\$39,937	\$249,763	\$315,337	\$78,380	\$148,698	\$257,571	\$513,838	\$188,857	\$502,065	\$429,281	\$260,484	\$3,102,188
AHORRO COSTO DE MANTENIMIENTO	\$19,323	\$19,323	\$19,323	\$19,323	\$19,323	\$19,323	\$19,323	\$19,323	\$19,323	\$19,323	\$19,323	\$19,323	\$231,872
AHORRO EN REPUESTOS	\$29,284	\$29,284	\$29,284	\$29,284	\$29,284	\$29,284	\$29,284	\$29,284	\$29,284	\$29,284	\$29,284	\$29,284	\$351,413
<b>INGRESO TOTAL</b>	\$166,584	\$88,544	\$298,370	\$363,944	\$126,988	\$197,306	\$306,178	\$562,445	\$237,464	\$550,672	\$477,888	\$309,091	\$3,685,473

**Fuente: Elaboración propia**

### 5.3 Estado de resultados

Inversión total: \$ 174,996

Costo de oportunidad anual: 1.0979% mensual

**Cuadro N ° 51: Estado de resultados**

Mensual	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ingresos		\$166,584	\$88,544	\$298,370	\$363,944	\$126,988	\$197,306	\$306,178	\$562,445	\$237,464	\$550,672	\$477,888	\$309,091
Costos operativos		\$88,539	\$33,456	\$174,396	\$201,166	\$47,959	\$98,192	\$164,505	\$382,603	\$132,158	\$344,587	\$368,172	\$214,098
Depreciación		\$2,058	\$2,058	\$2,058	\$2,058	\$2,058	\$2,058	\$2,058	\$2,058	\$2,058	\$2,058	\$2,058	\$2,058
Utilidad bruta		\$75,986	\$53,030	\$121,916	\$160,721	\$76,970	\$97,055	\$139,614	\$177,784	\$103,248	\$204,027	\$107,658	\$92,934
GAV		\$4,757	\$2,027	\$10,692	\$7,326	\$2,365	\$5,257	\$8,804	\$27,741	\$8,642	\$22,154	\$22,839	\$17,052
Utilidad antes de impuestos		\$71,229	\$51,003	\$111,224	\$153,394	\$74,605	\$91,798	\$130,810	\$150,043	\$94,606	\$181,873	\$84,818	\$75,882
Impuestos (28%)		\$19,944	\$14,281	\$31,143	\$42,950	\$20,889	\$25,703	\$36,627	\$42,012	\$26,490	\$50,925	\$23,749	\$21,247
Utilidad después de impuestos		\$51,285	\$36,722	\$80,081	\$110,444	\$53,715	\$66,094	\$94,183	\$108,031	\$68,116	\$130,949	\$61,069	\$54,635

**Fuente: Elaboración propia**



## 5.4 Flujo de caja

**Cuadro N ° 52: Flujo de caja**

Meses	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Utilidad después de impuestos		\$51,285	\$36,722	\$80,081	\$110,444	\$53,715	\$66,094	\$94,183	\$108,031	\$68,116	\$130,949	\$61,069	\$54,635
Depreciación		\$2,058	\$2,058	\$2,058	\$2,058	\$2,058	\$2,058	\$2,058	\$2,058	\$2,058	\$2,058	\$2,058	\$2,058
FNE	-\$174,996	\$53,343	\$38,780	\$82,140	\$112,502	\$55,774	\$68,153	\$96,242	\$110,089	\$70,175	\$133,007	\$63,127	\$56,693

**Fuente: Elaboración propia**

## 5.5 Calculo del TIR/VAN

**Cuadro N ° 53: Indicadores económicos**

Meses	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Flujo neto Efectivo	-\$174,996	\$53,343	\$38,780	\$82,140	\$112,502	\$55,774	\$68,153	\$96,242	\$110,089	\$70,175	\$133,007	\$63,127	\$56,693

Meses	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ingresos totales		\$166,584	\$88,544	\$298,370	\$363,944	\$126,988	\$197,306	\$306,178	\$562,445	\$237,464	\$550,672	\$477,888	\$309,091
Egresos totales		\$113,241	\$49,764	\$216,230	\$251,442	\$71,214	\$129,153	\$209,936	\$452,356	\$167,290	\$417,665	\$414,760	\$252,397

<b>VAN ingresos</b>	<b>\$3,396,512</b>	<b>SOLES</b>
<b>VAN egresos</b>	<b>\$2,523,369</b>	<b>SOLES</b>
<b>PRI</b>	<b>2.4</b>	<b>MESES</b>

<b>VAN</b>	<b>\$873,143</b>
<b>TIR</b>	<b>37.6%</b>
<b>B/C</b>	<b>1.34</b>

**Fuente: Elaboración propia**

## **CAPÍTULO 6: RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

## **6.1 Resultados**

- A.** Luego de la realización de la propuesta de implementación del sistema de mantenimiento predictivo en el área de procesamiento de mineral en la compañía minera se logró reducir el número de fallas de los equipos críticos de chancado y molienda en un 40%, con ello se logró aumentar la disponibilidad de los equipos de chancado de 93.92% a 96.42% y de los molinos de 94.16% a 96.46%. El aumento de la disponibilidad permitió procesar más toneladas de material sólido aumentando la eficiencia en el procesamiento de mineral de 93.8% a 96.6 %, con lo cual se logró obtener 556 toneladas de material fino de cobre que al ser vendidas generaron unos ingresos de \$3,102,188. Adicional a ello, se logró reducir los costos del mantenimiento realizado por terceros en un 15% (\$ 231,872) y el costo de los repuestos en un 15% (\$351,412), lo que generó un ahorro anual de \$3,685,473. Cabe mencionar que esto incrementó la rentabilidad de 28% a 34%, ya que se incrementó las ventas en 556.73 Toneladas de material fino de cobre.
- B.** El VAN (valor actual neto) de la implementación de este proyecto es de \$ 873,143, lo que indica que es un proyecto RENTABLE para la compañía minera.
- C.** La tasa interna de retorno (TIR) es de 37.6%, que es la tasa a la cual retornará la inversión de este proyecto y que es mucho mayor al costo de oportunidad de la empresa (cok= 18%); por lo que el proyecto según este indicador es RENTABLE.
- D.** El indicador de costo beneficio tenemos un 1.3, lo que nos indica que por cada \$ 1.00 invertido en este proyecto, la empresa ganará \$ 0.30.

## **6.2 Discusión**

- A.** El sistema de mantenimiento predictivo propuesto mejora la rentabilidad actual de la compañía minera, ya que al reducir el número de fallas de los equipos críticos del área de procesamiento de mineral en un 40%, se logró a su vez incrementar la disponibilidad de

los equipos de chancado de 93.92% a 96.42% y de los molinos de 94.16% a 96.46%, con lo cual se procesó más toneladas de material sólido aumentando la eficiencia en el procesamiento de mineral de 93.8% a 96.6 %, es por ello que se pudo obtener 556.7 Toneladas material fino de cobre que al ser vendidas generaron unos ingresos de \$3,102,188. Adicional a ello, se logró reducir los costos del mantenimiento realizado por terceros en un 15% (\$ 231,872) y el costo de los repuestos en un 15% (\$351,412), lo que genera un ahorro anual de \$3,685,473.

- B.** El VAN del proyecto fue \$ 873,143, debido a la venta de las toneladas adicionales de material de cobre obtenidos, la reducción de los costos de servicio de mantenimiento y a la reducción de costos de los repuestos, generando ingresos anuales de \$ 3,685,473 y se obtuvo un flujo neto de efectivo mensual promedio de \$ 78,335, a un tasa de 1.09% mensual.
- C.** Para el área de finanzas de la compañía minera la tasa base para determinar que un proyecto es viable es de 14% anual, para determinar el TIR de la propuesta de mejora se hizo evaluación en un periodo de 1 año, teniendo una inversión de \$ 174,996 dólares y un flujo de efectivo mensual promedio de \$ 78,335, obteniéndose como resultado un TIR de 37.6 %, con lo cual nos indica que el proyecto es rentable, además la inversión se recupera en un periodo de 2.4 meses.
- D.** Se obtuvo Ingresos anuales de \$ 3,685,473 debido a la venta de las toneladas adicionales de material de cobre obtenidos, la reducción de los costos de servicio de mantenimiento y a la reducción de costos de los repuestos. Adicional a ello se obtuvo unos egresos anuales \$ 2,745,448 propios de los costos de operación; al dividir estos 2 valores nos da como resultado 1.3 (Indicador costo beneficio)

## **CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 7.1 Conclusiones

- A. Se realizó el diagnóstico de la situación actual del proceso de mantenimiento de la Compañía Minera encontrando que los principales problemas que afecta a la rentabilidad de la empresa son: los elevados costos del área de mantenimiento, el incumplimiento de su programa de mantenimiento, la inadecuada gestión de repuestos, los equipos críticos de chancado y molienda no alcanzan la disponibilidad meta, la falta de equipo predictivos y la falta de capacitación de los trabajadores del área de mantenimiento. Todo lo antes mencionado ocasionó que se tenga una eficiencia de 93.8%, significando que la empresa dejo de vender un total de 1219 TMF que equivale a un monto de \$6,982,143.
- B. Se elaboró el diseño del sistema de mantenimiento predictivo en el área de procesamiento de mineral de la compañía minera, el cual está basado en realizar inspecciones con la ayuda de equipos predictivos, que ayuden a determinar el tiempo exacto para realizar alguna reparación y de esta manera disminuir las paradas imprevistas que afecten a la disponibilidad de los equipos de molienda y chancado. Dentro del sistema se ha considerado la capacitación del personal para reducir los servicios de mantenimiento externo en un 15 %(\$ 231,872), la reducción de las fallas de los equipos críticos en un 40% y la reducción de los costos de repuestos para estos equipos en un 15%(\$351,412). Cabe mencionar que esto incrementó la rentabilidad de 28% a 34%, ya que se incrementó las ventas en 556 Toneladas de material fino de cobre.
- C. Se hizo la evaluación económica / financiera de la propuesta de mejora en un periodo de 12 meses, dando como resultado que el proyecto es RENTABLE

VAN : \$ 873,143

TIR : 37.6%

B/C : 1.3

## **7.2 Recomendaciones**

- A.** Se recomienda aplicar este sistema de mantenimiento predictivo propuesto ya que a largo plazo ayudara no solo a mejorar la rentabilidad de la Compañía minera, sino que permitirá reducir el número de fallas de todos los equipos en general.
- B.** Adicional a las capacitaciones propuestas, se debe invertir en la contratación de nuevo personal que sean especializadas en mantenimiento predictivo.
- C.** A largo plazo la empresa debería proyectase a pasar del mantenimiento correctivo y preventivo a un mantenimiento basado en la confiabilidad de los equipos (RCM).
- D.** La empresa debe implementar herramientas de la calidad para realizar el análisis de fallas de sus equipos y de esta manera poder determinar las causas para posteriormente darles la solución que corresponda.

# Bibliografía

## - Libros:

GARCÍA, S. (2009). Mantenimiento Predictivo. Madrid: Renovetec.

Palomino, E. (1997). La Medición y el Análisis de Vibraciones en el Diagnóstico de Máquinas Rotativas. Cuba.

## - Páginas web

Atmosferis (2012). Mantenimiento: Correctivo, preventivo y predictivo. [En línea] Recuperado el 22 de Mayo del 2016, de <http://www.atmosferis.com/mantenimiento-correctivo-preventivo-y-predictivo/>.

Confiabilidad (s.f.).Estrategias de mantenimiento predictivo. [En línea] Recuperado el 22 de Mayo del 2016, de <https://es.scribd.com/doc/126331794/Servicios-de-Mantenimiento-Predictivo-Gts-Confiabilidad>.

Cruz, Adrián (2011). Implementación del mantenimiento predictivo en la empresa agr-rackend. [En línea] Recuperado el 22 de Mayo del 2016, de <http://www.uttt.edu.mx/CatalogoUniversitario/imagenes/galeria/63A.pdf>

Duran, J. (2003). Nuevas Tendencias en el Mantenimiento En La Industria Eléctrica. [En línea] Recuperado el 22 de Mayo del 2016,de <http://ieeexplore.ieee.org/iel5/9907/31500/01468615.pdf?arnumber=1468615>

Eñaut y Gorka (2009). Curso sobre mantenimiento predictivo y sus distintas técnicas de aplicación. [En línea] Recuperado el 22 de Mayo del 2016, de <http://www.coiig.com/COIIG/dmdocuments/Formacion%20IKASI/cursos%20presenciales/mantenpredic.documentacion.pdf>

Fygueroa, S (2010). Mantenimiento predictivo de motores mediante análisis de aceite. [En línea] Recuperado el 22 de Mayo del 2016, de [http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/hermesoft/portallG/home\\_](http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/hermesoft/portallG/home_)



18/recursos/01\_general/documentos/15042009/13\_articulosimonfygueroa.pdf

Mantenimiento Industrial (s.f.).Definición del Mantenimiento. [En línea] Recuperado el 22 de Mayo del 2016, de <http://www.mescorza.com/manten/mantenimiento/definicion.htm>

Martínez, Ernesto (2010). Plan de Mantenimiento predictivo en un línea de llenado para detergente Concentrado líquido, Recuperado el 22 de Mayo del 2016,de.<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/14829/1/Plan%20de%20mantenimiento%20predictivo%20en%20una%20l%C3%ADnea%20de%20llenado%20para%20detergente.pdf>

Olarte, William y otros (2010). Técnicas de mantenimiento predictivo utilizadas en las industrias. [En línea] Recuperado el 22 de Mayo del 2016, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84917249041>

Osorio, Daniel (s.f.). Implementación de un sistema de mantenimiento por diagnostico a bordo de unidades navales y marítimas. [En línea] Recuperado el 22 de Mayo del 2016, de <http://revistamarina.cl/revistas/2000/2/osorio.pdf>

PCE (s.f.). Cámara Térmográfica profesional PCE-TC 3. [En línea] Recuperado el 22 de Mayo del 2016, de <http://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/instrumento-detemperatura/camara-termografica-ir4010.htm>

Portal de mantenimiento (s.f.).Programa de mantenimiento. [En línea] Recuperado el 22 de Mayo del 2016, de <http://www.solomantenimiento.com/articulos/programa-mantenimiento.html>.

Preditec (s.f.). Detección Ultrasónica. [En línea] Recuperado el 22 de Mayo del 2016, de <http://www.preditec.com/aplicaciones/tecnica-predictiva/deteccion-ultrasonica/>

Renovetec (s.f.). Mantenimiento Predictivo. Técnicas de Mantenimiento Condicional basadas en la medición de variables físicas. [En línea]

Recuperado el 22 de Mayo del 2016, de  
<<http://www.renovetec.com/editorial/mantenimientoindustrial-vol3-predictivo.pdf>

Sarzosa, Rodrigo (2008). Elaboración de un Plan de Mantenimiento Predictivo y Preventivo en un función de la criticidad de los equipos del proceso productivo de una empresa empacadora de camarón, Recuperado el 22 de Mayo del 2016,de.<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/1348/1/2625.pdf>

# **ANEXOS**

## Anexo 01: Encuesta aplicada

### ENCUESTA DE MATRIZ DE PRIORIZACIÓN - C.M.C.S.A.A.

Área : MANTENIMIENTO , PRODUCCIÓN

Problema : BAJA RENTABILIDAD

Nombre: \_\_\_\_\_ Área: \_\_\_\_\_

Marque con una "X" según su criterio de significancia de causa en el Problema.

Valorización	Puntaje
Muy alto	3
Alto	2
Regular	1
Bajo	0

EN LAS SIGUIENTES CAUSAS CONSIDERE EL NIVEL DE PRIORIDAD QUE AFECTEN LA RENTABILIDAD  
CAUSA ( ) ALTO ( ) MEDIO ( ) BAJO

Causa	Preguntas con Respecto a las Principales Causas	Calificación			
		Muy Alto	Alto	Regular	Bajo
Cr1	Falta de cumplimiento del programa de mantenimiento				
Cr2	Demora en la entrega de repuestos por falta de seguimiento a proveedores				
Cr3	Falta de personal encargado de realizar el mantenimiento				
Cr4	Falta de supervisores				
Cr5	Falta de procedimientos de trabajo				
Cr6	Falta de capacitación al personal del área de mantenimiento				
Cr7	Reducción del material procesado por paros no programados				
Cr8	Excesivos costos en el mantenimiento de los equipos				
Cr9	Falta de equipos predictivos para el mantenimiento en planta				
Cr10	Falta de codificación de los equipos				
Cr11	Falta de gestión de repuestos				
Cr12	Falta de disponibilidad de los equipos				
Cr13	No se tiene identificado los repuestos críticos				

Fuente: Elaboración propia